U d'/of OTTAWA
39003003158325

4-52

Digitized by the Internet Archive
in 2012 with funding from
University of Toronto

http://www.archive.org/details/traitdelachaleur02pcle

TRAITÉ

DE LA CHALEUR

CONSIDÉRÉE

DANS SES APPLICATIONS

UNIVERSITAS O. M. I. OTTAVIENSIS

Paris. — Typographie de Firmin Didot frères, rue Jacob, 56.

TRAITÉ
DE LA CHALEUR
CONSIDÉRÉE
DANS SES APPLICATIONS

PAR E. PÉCLET

INSPECTEUR GÉNÉRAL DE L'UNIVERSITÉ, PROFESSEUR DE PHYSIQUE APPLIQUÉE AUX ARTS, A L'ÉCOLE CENTRALE
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE, DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT, ETC

DEUXIÈME ÉDITION

ENTIÈREMENT REFONDUE

Tome Second.

PARIS
LIBRAIRIE DE L. HACHETTE
RUE PIERRE-SARRAZIN, 12

1843

UNIVERSITÉ O. M. OTTAWA

TJ
260
.P42
1843

TRAITÉ
DE LA CHALEUR
CONSIDÉRÉE
DANS SES APPLICATIONS.

CHAPITRE X.

DISTILLATION.

1066. La distillation a pour objet de séparer une substance volatile d'une ou de plusieurs autres fixes, ou volatiles, mais à des températures plus élevées.

Nous examinerons successivement les différents cas qui peuvent se présenter, en commençant par ceux qui n'exigent que les appareils les plus simples.

§ 1. — DISTILLATION SIMPLE.

1067. Le cas dont il s'agit est, par exemple, celui de la distillation de l'eau, car les substances étrangères qu'elle renferme ordinairement sont des sels fixes; ce serait aussi celui d'un mélange d'alcool et de sucre, d'alcool et de sels, etc. La distillation des liqueurs vineuses rentrerait, au contraire, dans le second cas, parce qu'elles renferment deux substances vaporisables, de l'eau et de l'alcool. Cependant, si l'on ne voulait pas séparer ces deux substances l'une de l'autre, la distillation des matières fermentées rentrerait encore dans le cas que nous considérons.

1068. Lorsque les matières à distiller ne renferment qu'une seule substance volatile, l'opération consiste, 1° à soumettre le mélange à l'action de la chaleur pour réduire en vapeur le corps vaporisable; 2° à condenser les vapeurs de manière à recueillir le corps qui en résulte, qui peut être solide ou liquide suivant sa nature. La formation des vapeurs peut avoir lieu, ou par l'action directe d'un foyer, ou par la vapeur, ou par tout autre véhicule de la chaleur.

1069. *Distillation simple à feu nu.* Dans ce mode de chauffage, la formation des vapeurs s'effectue dans des appareils semblables à ceux que nous avons décrits en parlant de la vaporisation.

1070. Le métal dont on doit faire usage pour la construction des chaudières dépend de la nature de la substance à distiller. Par exemple, pour la distillation du soufre, du mercure, du zinc, le fer est le seul métal que l'on puisse employer; et la fonte est préférable à la tôle qui s'oxyderait trop facilement, et dont les joints seraient difficiles à fermer exactement, surtout si la matière à distiller était du soufre.

1071. Les soupapes de sûreté deviennent inutiles, parce que, comme nous le verrons plus tard, l'espace où la condensation des vapeurs a lieu communique librement avec la chaudière par un tuyau d'un diamètre suffisant, et que son extrémité est toujours ouverte à l'air. Cependant, il est des cas où la distillation ayant lieu avec pression, les soupapes de sûreté sont indispensables.

1072. Quant au tuyau de dégagement, ses dimensions peuvent se calculer d'après les mêmes principes que pour la vapeur d'eau. Mais, en général, on lui donne un diamètre beaucoup plus grand que celui qui est indiqué par la théorie, parce qu'il n'en résulte jamais d'inconvénient, et qu'au contraire, il y a souvent un très-grand avantage à avoir un grand tuyau de conduite. C'est ce qui a lieu, par exemple, dans la distillation des vins, où il est nécessaire que les vapeurs séjournent le moins de temps possible dans la chaudière, et qu'elles n'y soient soumises qu'à une faible pression, parce qu'autrement elles pourraient se brûler contre la paroi de la chaudière qui se trouve au-dessus du niveau du liquide. Dans la distillation du soufre, le canal de dégagement doit être beaucoup plus considérable encore, parce que ce canal est sujet à s'obstruer par la solidification des vapeurs.

1073. Les dimensions de toutes les parties de l'appareil dépendent,

comme nous l'avons déjà dit, de la quantité de vapeur que l'on veut obtenir dans un temps donné; car, de cet élément, on peut déduire la quantité de combustible à consommer, l'étendue de la surface de chauffe de la chaudière, et toutes les autres parties de l'appareil.

1074. Tous ces calculs ont déjà été faits pour l'eau; nous allons les appliquer à d'autres substances.

Occupons-nous d'abord de l'alcool, et supposons qu'il s'agisse de distiller par heure 100 kilogrammes d'alcool qui ne soit mêlé qu'avec des substances fixes. Commençons par chercher la quantité de chaleur nécessaire à la vaporisation de l'alcool. Nous avons vu que l'alcool, dont l'ébullition a lieu à 78°,41, absorbe dans son changement d'état une quantité de chaleur capable d'élever le même poids d'eau à 207° (66), et comme la chaleur spécifique de l'alcool est 0,622, il en résulte que 1 kilogramme d'alcool à 0°, pour être réduit en vapeur, absorbera un nombre d'unités de chaleur égal à $78,41 \times 0,622 + 207 = 255$. C'est à peu près les $\frac{4}{10}$ de la chaleur qui serait absorbée par l'échauffement à 100° et la vaporisation d'un même poids d'eau. Or, on sait qu'en général 1 kilogramme de houille vaporise 6 kilogrammes d'eau, par conséquent, 1 kilogramme de houille pourra réduire en vapeur $\frac{6 \times 10}{4} = 15$ kilogrammes d'alcool.

1075. Quant à la surface de chauffe de la chaudière, nous savons que dans un appareil bien construit et qui donne 6 kilogrammes de vapeur par kilogramme de houille, il ne faut compter que sur 15 à 20 kilogrammes de vapeur d'eau par mètre carré et par heure; or, cette quantité de chaleur qui passe à travers le métal, pourra volatiliser $\frac{10}{4}$ fois plus d'alcool, c'est-à-dire, de 37 à 50 kilogrammes. Ainsi, pour calculer la surface de chauffe, il faudra compter au moins sur 37 kilogrammes de vapeur d'alcool par mètre carré et par heure. On pourrait, comme nous l'avons déjà fait observer (730), obtenir une quantité de vapeur beaucoup plus grande, mais la chaleur ne serait pas employée aussi utilement.

Ainsi, pour le cas que nous avons supposé, la surface de chauffe de la chaudière devrait être de $\frac{100}{37} = 2,7$ mètres.

La quantité de combustible à brûler par heure serait $\frac{100}{15} = 6^k,66$. Les dimensions de la grille, la section de la cheminée, etc., se dé-

duiraient facilement de ces données et de la hauteur de la cheminée.

1076. Supposons maintenant que nous ayons à distiller un mélange d'eau et d'alcool, c'est le cas ordinaire de la distillation des vins, et supposons que l'alcool soit à l'eau comme 1 est à 24, ce qui représente $\frac{1}{8}$ du poids d'eau-de-vie à 22° de Baumé. L'expérience a appris que pour obtenir presque tout l'alcool contenu dans ce liquide, il faut réduire en vapeur 0,22 de la masse totale, et que la liqueur obtenue porte à l'aréomètre le titre moyen de 17°, et se compose de $\frac{1}{24} = 0{,}042$ d'alcool, et, par conséquent de $0{,}22 - 0{,}042 = 0{,}178$ d'eau.

Si, par exemple, il s'agissait de distiller 1000 litres de vin par heure, il faudrait vaporiser 220 litres de liqueur, composés de 42 litres d'alcool pur et de 178 litres d'eau.

La quantité de houille nécessaire serait alors, d'après ce qui précède,

Pour la vaporisation de 42 kilogrammes d'alcool $\frac{42}{15} =$....	$2^k,80$
Pour la vaporisation de 178 kilogrammes d'eau $\frac{178}{6} =$....	29 ,66
Pour l'échauffement à 100° du liquide restant $= \frac{780}{39} =$....	20 ,00
Total de la dépense du combustible.....	$52^k,46$

Il est facile, d'après cela, de calculer la surface de chauffe de la chaudière, car il doit passer à travers ses parois une quantité de chaleur égale à celle qui serait nécessaire à la vaporisation de $52^k,46 \times 6 = 314^k,76$ d'eau, ce qui, à raison de 15 kilogrammes de vapeur par mètre carré, donne $20^m,492$.

1077. On pourrait calculer de la même manière la quantité de combustible et les dimensions de la chaudière qui seraient nécessaires pour distiller, par heure, une quantité donnée de tout autre corps volatil, si on connaissait exactement sa capacité calorifique et la chaleur qu'il absorbe en se volatilisant. Mais si la température de l'ébullition du corps était beaucoup plus élevée que celle de l'eau, la même surface de chaudière ne laisserait pas passer dans le même temps la même quantité de chaleur que quand elle est employée à vaporiser de l'eau.

1078. Dans la distillation des substances qui ne bouillent qu'à une température très-élevée, il y a une très-grande perte de chaleur; mais on peut toujours en utiliser une partie en plaçant à la suite de la chau-

dière de distillation, une ou plusieurs autres chaudières dans lesquelles la matière commence à s'échauffer.

1079. *Appareils de condensation.* Immédiatement après leur sortie de la chaudière, les vapeurs doivent arriver dans un espace dont les parois en absorbant leur chaleur latente les fassent repasser à l'état liquide.

1080. Il en est du volume d'un condensateur comme du volume d'une chaudière, il est sans influence sur l'effet produit, car c'est uniquement par les parois de l'appareil que la chaleur passe pour se répandre au dehors; par conséquent, toutes choses égales d'ailleurs, la quantité de vapeur qui peut passer à l'état liquide dans le condensateur est proportionnelle à sa surface.

1081. On n'emploie pour agent extérieur de refroidissement que l'air et l'eau, et dans les appareils d'une grande dimension, l'enveloppe du condensateur est en terre cuite, en étain, en plomb, en cuivre ou en fer.

1082. Il est facile de déterminer l'étendue de la surface du condensateur quand on connaît la nature du fluide qui doit absorber la chaleur, sa température moyenne, la quantité de vapeur qui doit être condensée dans un temps donné, la chaleur que cette vapeur émet par sa condensation, et enfin la quantité de chaleur qui peut passer dans un temps connu à travers une surface de métal déterminée dans les diverses circonstances qui peuvent se présenter.

Ces derniers éléments peuvent facilement se déduire des résultats suivants, qui ont été obtenus pour la vapeur d'eau.

Condensation de la vapeur d'eau par heure et par mètre carré de surface, en contact avec l'air à 15°.

Fonte de 5 à 6 millimètres.....	$1^k,80$
Cuivre de 2 à 3 millimètres.....	$1^k,40$
Fer-blanc.....	$1^k,07$
Tôle.....	$1^k,82$
Verre.....	$1^k,76$

Condensation de la vapeur d'eau par heure et par mètre carré de surface, en contact avec de l'eau de 20 *à* 25°.

Cuivre de 2 à 3 millimètres....	107^k.

1083. Supposons, d'abord, qu'il soit question de condenser 100 kilogrammes de vapeur d'eau par heure dans un condensateur de cuivre mince exposé à l'air, dont la température moyenne soit de 10°. La différence de température sera 90°; or, pour une différence de 85°, la condensation par mètre carré est, d'après le tableau précédent, de $1^k,80$; par conséquent, en admettant la loi de Newton sur le refroidissement, pour la différence de 90° elle sera $1^k,80 \times \frac{90}{85} = 1^k,90$; d'où il suit que la surface totale du condensateur sera de $\frac{100}{1^k,90} = 52^m,66$.

1084. Supposons maintenant qu'il s'agisse de condenser par heure 100 kilogr. de vapeur d'alcool à 22° de Baumé, dans un condensateur en cuivre mince, renfermé dans un vase plein d'eau maintenu à la température moyenne de 20°. Il faut commencer par chercher la quantité de chaleur émise par la condensation d'un kilogr. de vapeur de cette substance, et la comparer à celle que dégage 1 kilogramme de vapeur d'eau pure. Or, l'alcool à 22° de Baumé est composé de 64 parties d'eau et de 36 d'alcool pur; par conséquent 1 kilogramme de vapeur d'alcool à 22° renferme $0^k,64$ de vapeur d'eau et $0^k,36$ de vapeur d'alcool pur; et comme 1 kilogramme de vapeur d'eau en se condensant émet 550 unités de chaleur, et 1 kilogramme de vapeur d'alcool seulement 207, il en résulte que la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à $22° = 550 \times 0,64 + 207 \times 0,36 = 426$; ainsi la quantité de chaleur émise par la condensation de 1 kilogramme d'alcool à 22°, est égale à $\frac{426}{550} = 0,77$ de celle qui est développée par la condensation de 1 kilogramme de vapeur d'eau, d'où il suit que 1 mètre carré de surface de cuivre pourra condenser en une heure $\frac{107}{0,77} = 139$ kilogrammes de vapeur d'alcool à 22°. Ainsi la surface du condensateur sera égale à $\frac{100}{139} = 0^m,71$.

Si la condensation avait lieu par l'air, il serait facile, en partant des mêmes principes et des nombres que nous avons donnés précédemment, de déterminer l'étendue de la surface de condensation.

1085. Examinons maintenant la manière dont les condensateurs sont disposés. Dans les petits appareils de laboratoire, le condensateur est ordinairement un ballon que l'on place à l'extrémité du col de la cornue ou du vase distillateur, et qu'on environne d'un linge mouillé (fig. 1re,

pl. 45). On emploie aussi quelquefois des alambics en cuivre, dont le chapeau de forme hémisphérique est disposé comme celui de l'appareil figure 2; il est de plus environné d'eau que l'on renouvelle de temps en temps. La chaudière porte ordinairement le nom de cucurbite.

1086. Dans les appareils d'une grande dimension, on peut employer des réfrigérants à eau ou à air, ou du moins à liquide et à air; nous nous occuperons d'abord des premiers.

1087. *Réfrigérants à eau.* On a employé d'abord un tube droit en métal, traversant une cuve pleine d'eau; mais pour condenser une quantité considérable de vapeur, il aurait fallu des caisses d'une longueur démesurée. Glauber, en 1650, eut le premier l'idée heureuse de plier le tuyau en hélice, de manière à en loger une grande longueur dans une cuve d'une petite dimension. Cet appareil, maintenant généralement usité, est représenté figure 3. On le désigne sous le nom de serpentin; l'extrémité supérieure A est en communication avec la chaudière où se forment les vapeurs, et la partie inférieure B avec le vase qui doit recevoir le liquide provenant des vapeurs condensées.

1088. La surface d'un serpentin est évidemment égale au contour de la section transversale multiplié par la longueur de l'hélice. La longueur de l'hélice peut facilement se calculer lorsqu'on connaît le diamètre du cercle qui forme la base du cylindre sur lequel se trouve l'axe du canal, la distance de deux spires consécutives, et enfin le nombre des spires. En effet, si on conçoit une hélice tracée autour du cylindre ABCD (fig. 4), et si l'on développe le cylindre, la surface du cylindre sera un rectangle ABC'D' dont la base sera égale à la circonférence du cercle BC, et dont la hauteur sera AB; l'hélice s'élevant régulièrement et uniformément sur la surface du cylindre, donnera pour développement de la spire *mn* la droite *mn'*, *n'p* étant égal à *mn*. Ainsi, la longueur d'une spire sera l'hypoténuse d'un triangle rectangle dont la base est égale à la circonférence du cercle sur lequel s'enroule la spire, et dont la hauteur est la distance de deux spires consécutives, et la longueur totale du serpentin sera égale à la longueur d'une spire multipliée par leur nombre. Lorsque les spires sont très-voisines les unes des autres, on peut, sans erreur sensible, considérer la surface totale comme égale à celle d'autant d'anneaux circulaires qu'il y a de spires.

1089. Pour que la condensation s'opère complétement dans les appa-

reils dont les dimensions ont été calculées, il faut nécessairement que l'eau se renouvelle, de manière que la température moyenne ne soit pas supérieure à 25°, autrement la quantité de vapeur condensée serait beaucoup plus petite.

1090. On peut déterminer exactement la quantité d'eau échauffée, et les intervalles de son renouvellement, quand on connaît la capacité de la cuve. En effet, supposons que l'eau froide qu'on introduit dans la cuve du serpentin soit à la température de 12°, c'est la température moyenne de l'eau des puits pendant l'année, il sera toujours facile de trouver dans chaque cas particulier le nombre d'unités de chaleur qui passera dans l'eau pendant une heure par la condensation de la vapeur, et par conséquent le nombre de kilogrammes d'eau dont la température sera élevée de 12° à 25°. Par exemple, l'appareil devant condenser 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22°, comme nous avons déjà vu (1084) que le nombre d'unités de chaleur développées par la condensation d'un kilogramme de vapeur de cette substance est de 426, et par suite de 42600 pour 100 kilogrammes, il en résulte que la quantité d'eau échauffée de 12° à 25 par la condensation de ces 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22°, sera de $\frac{42600}{25-12} = \frac{42600}{13} = 3277^{k}$. Ainsi il faudrait toutes les heures enlever 3277 litres d'eau de la cuve de condensation, et en introduire une égale quantité.

1091. Mais ordinairement on n'emploie qu'une quantité d'eau beaucoup plus petite, parce que l'eau de la cuve n'a pas une température uniforme, celle qui est à la partie supérieure se trouvant très-chaude, tandis que celle qui est à la partie inférieure est presque froide; alors, en laissant écouler l'eau de la partie supérieure, elle entraîne sous une petite masse une quantité très-considérable de chaleur. Par exemple, le volume de la cuve du serpentin étant exactement de 3277 litres, et sa température initiale étant de 12°, après la condensation de 100 kilogrammes de vapeur d'alcool à 22° sa température moyenne serait exactement de 25°; c'est-à-dire, ce degré serait la température de la masse si on l'agitait fortement de manière que la température devînt uniforme dans tous ses points, alors il faudrait enlever complétement ces 3277 litres d'eau pour les remplacer par une égale quantité d'eau à 12°; mais si au lieu d'agiter l'eau, on se contente d'évacuer la moitié supérieure qui se trouve à une température moyenne de près de 50°,

on voit que cette eau entraînera à elle seule la plus grande partie de la chaleur que la condensation de la vapeur avait accumulée dans la masse totale de l'eau. C'est ainsi qu'on opère toujours, et même dans les appareils de grande dimension, le départ de l'eau chaude et son renouvellement ont lieu d'une manière continue : l'eau chaude s'échappe par un tuyau A placé vers le sommet de la cuve (fig. 5), et l'eau froide arrive par un tuyau latéral BC qui pénètre dans la cuve par la partie inférieure. On règle à volonté le courant d'eau froide à l'aide du robinet D; l'eau froide se trouve dans un réservoir supérieur E dans lequel elle arrive naturellement ou par des pompes.

1092. Pour éviter d'élever l'eau froide dans un réservoir supérieur, on a proposé d'alimenter la cuve du serpentin par un appareil très-simple fondé sur le même principe que le jeu du siphon ordinaire. Le tuyau d'alimentation ABC (fig. 6) plonge dans un réservoir d'eau froide M placé au-dessous de la cuve, mais dont la distance au sommet de la cuve ne peut excéder 32 pieds. La partie supérieure de la cuve est exactement fermée par un couvercle luté DE, garni à son sommet d'un tube qui descend latéralement au-dessous du niveau de l'eau dans le réservoir M. Il est évident, d'après cela, que la cuve fait partie de la branche ascendante d'un siphon ordinaire, et qu'aussitôt que l'appareil sera complétement rempli d'eau, le liquide du réservoir M s'élèvera continuellement dans la cuve pour redescendre par le tube PQ. Mais pour que cet appareil puisse fonctionner, il est nécessaire d'y ajouter quelques dispositions de détail importantes : 1° pour amorcer cette espèce de siphon, il faut garnir les deux tubes BC et PQ de deux robinets *m* et *n*, que l'on maintient fermés pendant qu'on remplit le siphon d'eau froide par une ouverture supérieure, et que l'on ouvre aussitôt qu'il est rempli et qu'on a fermé l'ouverture d'introduction de l'eau. 2° Pour éviter que l'écoulement ne s'arrête par le dégagement de l'air qui est dissous dans l'eau et que la chaleur met en liberté, il faut placer au point culminant du siphon un petit réservoir X garni de deux robinets *p* et *q*; pendant que le siphon est en activité, le robinet *p* est ouvert et le robinet *q* est fermé; l'air dégagé se rend dans le réservoir X, et de temps en temps on le laisse échapper en ouvrant le robinet *q* après avoir fermé le robinet *p*; mais toutes les fois qu'on remet le récipient X en communication avec le siphon, il faut avoir soin de le remplir exac-

tement d'eau. Le robinet *q* est surmonté d'un entonnoir qui sert à amorcer le siphon. Cet appareil est un peu compliqué, je doute qu'il soit employé; mais comme il peut se rencontrer des circonstances dans lesquelles il soit utile, j'ai pensé devoir le décrire. La grande difficulté que l'on rencontrerait dans son exécution, consiste dans l'ajustement du couvercle de la cuve.

1093. Les serpentins sont faciles à construire; les tuyaux de fer étiré, d'une grande épaisseur et d'un petit diamètre, se courbent facilement à froid, sans s'aplatir; il en est de même des tuyaux en plomb et en zinc sans soudure; mais pour les tuyaux de cuivre mince, qui sont toujours soudés, on les courbe facilement sans les déformer, lorsqu'ils ont été remplis de sable fin. Pour mieux utiliser la surface de condensation ou pour en placer une plus grande étendue dans le même volume, on emploie quelquefois les dispositions représentées par les figures 7 et 8 (pl. 45). Dans la première, le serpentin est roulé sur des cônes apposés alternativement par leur base et par leur sommet. Dans la seconde, l'appareil est formé de plusieurs hélices concentriques que la vapeur parcourt simultanément.

1094. Pour économiser l'eau de condensation, ou pour l'obtenir à une température plus élevée quand sa chaleur doit être utilisée, on emploie les dispositions représentées par les figures 9, 10 et 11. Dans la première, un cylindre central oblige l'eau qui s'élève à passer près du tuyau qui forme le serpentin. Dans la seconde, l'appareil est formé de deux serpentins qui ont un axe commun; la vapeur parcourt le serpentin central, et l'eau parcourt en sens contraire l'intervalle qui sépare les deux tuyaux. Cette disposition est facile à exécuter quand les tuyaux sont d'un petit diamètre; avant de les courber, on introduit le petit tuyau dans le grand, après avoir placé de distance en distance, sur sa surface, de petites saillies qui l'empêchent de toucher la surface du tuyau enveloppant, et on les courbe ensuite. Quand les tuyaux ont un grand diamètre, on les laisse en ligne droite, et on les dispose comme l'indique la figure 11 quand ils ne doivent occuper qu'une petite longueur; le tuyau à vapeur est plié de manière à présenter une suite de parties rectilignes qui sont environnées par le tuyau destiné à conduire l'eau de condensation, et les intervalles des tuyaux communiquent par des tubes *a*, *b*.

1095. On a cherché à construire des condensateurs d'une autre forme, soit pour loger une plus grande surface de condensation dans le même

espace, soit pour pouvoir les nettoyer facilement. Avant de les décrire, nous ferons d'abord remarquer qu'une étendue suffisante de la surface refroidissante n'est pas la seule condition à remplir, il en est d'autres qui sont aussi très-importantes : 1° il faut que les condensateurs soient disposés de manière que la vapeur puisse expulser complétement l'air qui les remplit au commencement de l'opération ; car la présence de l'air diminue considérablement la faculté condensante de la surface ; on se rendra facilement compte de ce fait en observant que l'air conduit très-mal la chaleur, et que le refroidissement n'ayant sensiblement lieu que sur les couches en contact avec le métal, la condensation ne fait de progrès qu'avec le renouvellement de ces couches qui ne s'effectue alors que lentement. Il en est tout autrement quand l'espace est uniquement occupé par la vapeur, car la vapeur en contact avec le métal en se condensant produit un vide instantané qui est de suite occupé par de nouvelles vapeurs ; ainsi le fait même de la condensation produit un appel des vapeurs contre la surface refroidissante. 2° Il est parfaitement inutile de forcer la vapeur à serpenter contre la surface refroidissante, du moins quand l'appareil est disposé de manière que l'air soit expulsé par l'introduction des premières vapeurs ; d'après ce qui précède la raison en est évidente. 3° Enfin l'appareil doit être disposé de manière que l'extrémité du canal par laquelle s'écoule le liquide condensé, et qui est en communication avec l'air, se trouve en contact avec l'eau la plus froide, afin que le liquide soit à une température peu élevée et émette peu de vapeurs après sa sortie.

1096. Le premier appareil de condensation qu'on a essayé de substituer au serpentin, est composé (fig. 12, pl. 45) de deux cônes tronqués ABCD et A′B′C′D′ qui ont un même axe, mais des diamètres tels que l'intervalle qui les sépare a quelques pouces à la partie supérieure et seulement quelques lignes vers le bas : cet intervalle est exactement fermé en bas par un diaphragme annulaire qui est soudé avec chacun des cônes ; il est fermé en haut par un couvercle à rebords plongeant dans une rigole annulaire remplie d'eau ; la partie inférieure est un peu inclinée et garnie à la partie la plus basse d'un tuyau à robinet ; à la partie supérieure se trouve un tuyau FF qui est destiné à recevoir un tuyau d'un plus petit diamètre qui amène les vapeurs de la chaudière. Cet appareil est, comme le serpentin, fixé à demeure dans une cuve dont l'eau s'é-

coule par la partie supérieure, et se renouvelle par le bas; il est d'une construction simple, et, ce qui est très-avantageux dans un grand nombre de cas, d'un nettoyage facile, le couvercle supérieur pouvant s'enlever aisément. Cet appareil, connu depuis longtemps, a été employé et a donné de bons résultats.

1097. Solimani, dans son alambic que nous décrirons plus tard, a employé un condensateur de forme différente, représenté en coupe (fig. 13, pl. 45), qui est aussi d'une construction très-simple. Il est composé de deux lames de cuivre pliées parallèlement en zigzag, et qui laissent entre elles un intervalle d'une hauteur constante fermé latéralement par des lames de cuivre exactement soudées aux premières; cet appareil reçoit par la partie supérieure le tuyau d'arrivée des vapeurs, et porte à la partie inférieure un tuyau à robinet par lequel s'écoule le liquide condensé; il est, comme le précédent, fixé dans une cuve pleine d'eau. Pour cette disposition, il est plus avantageux d'employer une cuve carrée.

1098. Dans une circonstance où il fallait placer un condensateur d'une grande surface dans une cuve d'un très-petit volume, j'ai employé un appareil composé d'une série de boîtes circulaires légèrement inclinées et communiquant par des tuyaux d'un petit diamètre. C'est une des dispositions qui, sous le même volume, renferment le plus de surface.

1099. On pourrait aussi employer une disposition que l'on doit à M. Brunel, et dont il s'est servi dans la machine où il se proposait d'utiliser l'acide carbonique comme force motrice. Ce réfrigérant est composé de deux caisses cylindriques exactement fermées, et qui communiquent entre elles par un grand nombre de tubes parallèles, dont les extrémités sont exactement soudées au fond inférieur de la première caisse et au fond supérieur de la seconde; la première caisse reçoit le tuyau qui amène les vapeurs, et a seconde un tuyau à robinet pour l'écoulement du liquide qui provient de la condensation; le fond inférieur de la seconde caisse est un peu incliné, et l'appareil se place, comme les précédents, dans une cuve en bois pleine d'eau. Cette disposition a un inconvénient grave, il n'y a qu'un petit nombre de tubes qui fonctionnent, à moins que l'air n'ait été parfaitement expulsé.

1100. Si l'appareil de vaporisation communiquait avec un espace vide, quelle que fût la forme du condensateur que l'on adoptât, et la tem-

pérature de l'eau, jamais la condensation ne pourrait être complète. En effet, les liquides émettant des vapeurs à toutes les températures, l'espace occupé par le condensateur renfermerait nécessairement de la vapeur à la température et à la tension du liquide condensé, température qui ne pourrait jamais être inférieure à celle du liquide refroidissant. C'est ce qui arrive dans le condensateur des machines à vapeur.

1101. Mais quand l'extrémité du condensateur communique avec l'atmosphère et qu'il ne renferme point d'air, il n'en est pas ainsi; il ne peut se former, du moins d'une manière permanente, de vapeur à une température inférieure à celle de l'ébullition, parce qu'elle ne pourrait point supporter la pression de la vapeur qui sort de la chaudière, pression qui est égale à celle de l'atmosphère. La transformation de la vapeur en eau a lieu complétement, et il ne pourrait sortir de l'appareil que de la vapeur à la température de l'ébullition dans l'air, si la force condensante de l'appareil n'était pas suffisante.

1102. Nous avons donné précédemment le moyen de calculer la surface d'un condensateur dans chaque cas particulier; mais il sera toujours avantageux de prendre une surface un peu plus grande, afin de refroidir le liquide condensé.

1103. Dans les opérations suivies, on peut utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour chauffer le liquide qui doit servir à l'opération suivante, comme cela se pratique dans les distilleries de vin. Examinons quelle est l'importance de l'économie de combustible qui résulte de cette disposition.

S'il s'agissait de la distillation de l'eau ordinaire, la vaporisation du liquide introduit dans la chaudière devant être complète, on ne pourrait utiliser qu'une faible partie de la chaleur de condensation; en effet, la vapeur d'eau émettant par sa condensation une quantité de chaleur capable de porter de 0° à 100°, 5 fois $\frac{1}{2}$ son poids d'eau, et la charge de la chaudière étant égale à la quantité de vapeur formée, on ne pourrait profiter que de $\frac{1}{5}$ de la chaleur de condensation.

Dans la distillation des vins, on peut en utiliser une quantité beaucoup plus considérable, parce que la quantité de vapeur condensée est toujours beaucoup plus petite que la charge de la chaudière. Par exemple, les vins du Midi, qui contiennent ordinairement $\frac{1}{8}$ de leur

poids d'eau-de-vie à 22°, pour être épuisés d'alcool, doivent être réduits par la distillation à peu près aux $\frac{78}{100}$ de leur volume primitif; la quantité de liquide vaporisé est donc égale aux $\frac{22}{100}$ de leur volume, alors la quantité de chaleur émise par la condensation peut être en totalité employée à chauffer la charge de l'opération suivante. En effet, supposons que les opérations successives s'exécutent sur 100 kilog., la quantité de vapeur fournie par chaque opération sera de 22 kilog. Or, nous avons déjà vu (1084) que la quantité de chaleur produite par la condensation de chaque kilogramme de vapeur est de 426 unités de chaleur; par conséquent celle qui résultera de la condensation de 22 kilog. sera de 9372; en admettant, ce qui est une approximation bien suffisante, que la capacité calorifique du vin soit égale à celle de l'eau, cette quantité de chaleur pourra élever les 100 kilog. de vin de 0° à 93°, 72. Ainsi on voit que dans ce cas la chaleur dégagée par la condensation pourra être utilisée en totalité.

1104. Lorsqu'on emploie la chaleur dégagée par la condensation, on se sert toujours de deux serpentins; l'un pour chauffer le liquide de l'opération suivante, l'autre pour refroidir le liquide qui sort du premier condensateur et pour liquéfier les dernières portions de vapeurs.

1105. Les réfrigérants à air doivent avoir une surface beaucoup plus grande que celle des réfrigérants à liquides, attendu que, pour la même différence de température, la quantité de chaleur qui traverse la surface du condensateur est beaucoup plus petite dans le premier cas que dans le second. La surface d'un réfrigérant devrait être à peu près 50 fois plus grande quand le refroidissement a lieu par l'air que quand il s'effectue par le contact de l'eau.

On pourrait cependant diminuer beaucoup l'étendue de la surface des réfrigérants à air, en augmentant la vitesse de l'air qui l'environne; et cet accroissement de vitesse pourrait être produit par la chaleur même de l'air échauffé : il suffirait, pour cela, de plier le tuyau en hélice cylindrique ou conique, et de l'environner d'un cylindre d'une certaine hauteur ouvert par les deux bouts; ce tuyau se comporterait comme une cheminée ordinaire; l'air entrerait par la partie inférieure, s'échaufferait contre le tuyau en condensant la vapeur qu'il renferme, et se renouvellerait avec une vitesse qui dépendrait à la fois de la hauteur et du diamètre du cylindre enveloppant. Les figures 14 et 15 (pl. 45) représentent

la disposition dont il est question. Dans la première, il n'y a qu'un seul serpentin, avec un cylindre intérieur fermé à la partie supérieure; ce cylindre serait avantageusement remplacé par un second serpentin que la vapeur parcourrait, en même temps que le premier, de haut en bas. Dans la figure 15, l'hélice du serpentin est conique; cette forme est plus avantageuse que la première, parce que l'air est plus divisé. On augmenterait la vitesse de l'air en faisant communiquer le cylindre avec le cendrier d'un foyer consommant beaucoup d'air, ou avec une cheminée ayant un grand excès de tirage.

L'air chaud pourrait être utilisé; mais, dans le cas où l'on aurait un emploi de la chaleur produite, il serait toujours plus commode de condenser par l'eau, dont on utiliserait ensuite la chaleur, à moins pourtant qu'il ne s'agisse de chauffer et de ventiler des ateliers ou des séchoirs.

1106. Lorsqu'on ne peut pas employer utilement la chaleur de la condensation absorbée par de l'air ou de l'eau, et qu'il est important de diminuer le volume d'eau employé, il faut se servir de la disposition indiquée figure 16 (pl. 45). L'appareil se compose d'un serpentin ordinaire environné d'un cylindre ouvert par les deux bouts, comme dans la figure 14; mais le serpentin est surmonté d'une rigole annulaire, dont le fond est percé d'un grand nombre de petits trous par lesquels de l'eau s'écoule constamment; cette eau tombe en recouvrant toute la surface du serpentin, elle s'échauffe et donne naissance à des vapeurs qui sont entraînées par le courant d'air. Il est évident que par ce moyen on pourra condenser les vapeurs qui parcourent le serpentin, en consommant une quantité d'eau plus petite que le poids de la vapeur condensée, attendu qu'une partie de la chaleur est absorbée par l'air. Mais la surface de condensation, quoique plus petite que celle qu'exigerait le refroidissement par l'air seul, serait plus grande que si le serpentin était immergé dans un liquide. Cette disposition serait surtout avantageuse pour évaporer une dissolution saline ou un sirop; nous y reviendrons en parlant de l'évaporation.

1107. Nous terminerons l'article relatif à la distillation simple par la description de l'appareil employé par M. Freycinet pour la distillation de l'eau de mer sur les navires. Cet appareil est représenté par les figures 1 et 2 (pl. 46); la première est une coupe verticale de l'appareil, la seconde une coupe horizontale suivant le plan MN.

Le vase A est le réservoir d'eau disposé de manière à servir de filtre. A cet effet, une toile métallique *tt*, placée à la partie supérieure, arrête les corps étrangers que l'eau entraîne avec elle, et un second tamis *t' t'*, placé à la partie inférieure et plus fin que le premier, est destiné à rendre la filtration plus complète. L'eau, en sortant du vase A, se rend par le tube *dd*, muni du robinet *e*, dans le réfrigérant B, pour produire la condensation de la vapeur d'eau. *cc* est le tube qui conduit l'eau à l'extrémité du serpentin S, afin de rendre le refroidissement méthodique. C, chaudière de distillation d'où la vapeur s'échappe par le tuyau *bb* pour se rendre au serpentin. Sur le fond de la chaudière on a fixé une spirale que l'eau parcourt du centre à la circonférence avant d'être amenée à saturation. Cette spirale est maintenue à la partie supérieure par une plaque horizontale percée de trous et destinée à empêcher l'eau d'être lancée dans le tuyau à vapeur par des mouvements brusques du navire. Cette disposition de la chaudière est employée pour obtenir un repos relatif; les diaphragmes *ll*, percés de trous, tendent au même but. L'alimentation se fait avec l'eau du condensateur; cette eau se rend par un tube *gg* dans la caisse *ii* placée sous le cendrier, elle est conduite de là au centre de la chaudière par le tube *aa*, qui se recourbe à cet effet à une hauteur moindre que celle de l'eau dans la colonne *cc*.

F est le foyer. D, le cendrier. E, la cheminée formée d'une double enveloppe de tôle remplie de sable pour préserver des incendies. *r*, robinet d'écoulement de l'eau distillée. *f*, robinet qui sert à faire écouler l'eau de la chaudière quand elle a atteint le degré de concentration qu'il est bon de ne pas dépasser.

Un appareil dont les dimensions sont celles des figures, donne 912 litres d'eau par 24 heures. La consommation de combustible correspond à 5 kilog. par 38 litres d'eau obtenue, et le prix de revient est de 1$^{cent.}$,06 par litre.

1108. *Distillation dans le vide.* Considérons un siphon ABCD (fig. 17, pl. 45) terminé par deux réservoirs A et B, dans lequel on a fait le vide, et dont la branche AC renferme une certaine quantité de liquide. Si les réservoirs A et B sont maintenus chacun à une température constante, plus élevée pour le premier que pour le second, il est évident que le liquide renfermé dans le réservoir A produira constamment des vapeurs qui viendront se condenser dans le réservoir B.

1109. Pour opérer sur une petite échelle, on pourrait employer un siphon de verre de $0^m,80$ à $0^m,90$ de hauteur (fig. 18, pl. 45), qu'on remplirait de mercure, et qu'on renverserait ensuite dans une cuve à mercure après en avoir fermé les extrémités. Le mercure se maintiendrait dans chaque branche à une hauteur égale à celle du baromètre, et l'espace situé au-dessus de ces colonnes serait complétement vide. Alors, on pourrait faire passer le liquide au point A′ en l'introduisant au-dessous de la colonne AA′, et, en plaçant un mélange frigorifique autour du tube DD′, la distillation s'effectuerait.

1110. On pourrait encore employer l'appareil (fig. 19, pl. 45), composé de deux ballons A et B, réunis par un tube horizontal, et garni des trois robinets *a*,*b* et *c*. Au moyen du premier, par lequel on établirait la communication de l'appareil avec une machine pneumatique, on y ferait le vide; par le second, on introduirait le liquide dans le ballon A; alors, en environnant le ballon B d'un corps froid, la distillation s'effectuerait, et, en ouvrant les robinets *a* et *c*, on ferait écouler le liquide distillé.

1111. Dans ces différents modes de distillation, la chaleur est fournie d'abord par le liquide lui-même, et ensuite par l'air et les corps environnants aussitôt que la température du liquide est sensiblement abaissée. On pourrait aussi fournir directement la chaleur au vase qui renferme le liquide à distiller, et condenser la vapeur par l'air ou par un liquide qui se renouvellerait. Dans ce cas, la dépense de combustible serait la même que quand la distillation a lieu sous la pression de l'atmosphère (1075-76). Ce mode d'opération peut être utile lorsque, par la nature du corps sur lequel on opère, il est important que la distillation ait lieu à une température peu élevée; c'est pourquoi nous donnerons quelques détails sur la disposition des appareils à employer.

L'appareil le plus simple (fig. 20, pl. 45) est analogue à ceux qu'on emploie pour la distillation ordinaire sous la pression de l'atmosphère; il n'en diffère que par le réservoir M adapté à l'extrémité du serpentin, et qui est destiné à recevoir les produits de la distillation. Le liquide qui doit être distillé est placé dans la chaudière A; on vide la cuve du serpentin, on ouvre les robinets *m*, *n* et *p*, et on chauffe le liquide de manière à l'amener à la température de l'ébullition. Les vapeurs qui se forment ne se condensent qu'en très-petite quantité, et sortent presque

en totalité par le robinet *p* du réservoir M. Après quelques instants, tout l'air que contenait l'appareil a été expulsé, et ce dernier n'est rempli que de vapeurs. A cette époque, on ferme le robinet *p*, on baisse le feu, et on remplit d'eau froide la cuve du serpentin; les vapeurs se condensent et le vide s'effectue dans l'appareil. Alors on ranime le feu et on le maintient au degré convenable; l'ébullition se manifeste à une température peu élevée, la condensation s'opère comme dans la distillation ordinaire, et les produits de la distillation se réunissent dans le récipient M. Si la distillation devait être continue, il faudrait de temps en temps enlever le liquide du réservoir M à l'aide d'une pompe, et alimenter la chaudière au moyen d'un tube d'aspiration garni d'un robinet. Ce mode d'opération a le grand inconvénient d'exiger que le liquide soit d'abord porté à la température de son ébullition dans l'air. Mais on pourrait éviter cet inconvénient en chassant l'air de l'appareil au moyen de la vapeur fournie par une chaudière à vapeur d'eau, qui serait placée à côté, et en n'introduisant le liquide à distiller dans l'alambic qu'après que l'air contenu dans l'appareil aurait été expulsé par la vapeur.

On emploie maintenant, dans la plupart des raffineries de sucre, des appareils dans lesquels l'évaporation des sirops a lieu dans le vide; ce sont, en réalité, des appareils de distillation dans le vide, mais comme ils ont pour objet la concentration, nous n'en parlerons que dans le chapitre consacré à l'évaporation.

1112. *Distillation sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère.* Dans certaines circonstances, il est avantageux de distiller sous des pressions plus grandes que celles de l'atmosphère; on y parvient facilement en plaçant, dans le tuyau qui conduit les vapeurs dans le condensateur, une soupape qui ne s'ouvre que sous la pression qu'on veut atteindre; la soupape à poids inférieur (fig. 8, pl. 21) serait alors la plus commode.

1113. *Distillation au bain-marie, par la vapeur, etc.* Dans un grand nombre de distillations, il est important de ne pas faire agir directement le feu sur la chaudière, surtout quand le liquide renferme des substances seulement en suspension, qui, en se précipitant sur le fond de la chaudière, pourraient se brûler et altérer les produits de la distillation; alors on place la chaudière dans une autre pleine d'eau que

l'on chauffe directement, ou bien on chauffe la chaudière soit extérieurement, soit intérieurement, par la vapeur à une pression plus ou moins élevée. On pourrait aussi employer des bains d'huile, de dissolutions salines, etc. Comme ces modes de chauffage exigent des appareils semblables à ceux qu'on emploie pour l'évaporation, nous en remettrons la description au chapitre suivant.

1114. *Distillations rapides.* Il y a quelques années, on a beaucoup parlé, dans les journaux scientifiques, de la rapidité avec laquelle on distillait les liqueurs vineuses en Écosse; elle était si grande relativement à celle qu'on obtient dans les appareils du continent, que plusieurs personnes doutaient de la véracité des rapports. La promptitude avec laquelle s'opérait la distillation dans les distilleries d'Écosse, paraît réellement incroyable. Un alambic contenant 80 gallons (305 litres), étant rempli de liqueur froide, celle-ci était chauffée, complétement distillée, et l'alambic rempli de nouveau, pour recommencer la distillation, dans trois minutes et demie; les alambics de 44 gallons (168 litres) n'exigeaient que 2 minutes et demie. Tout le secret consistait à employer de grandes surfaces de chauffe et à prodiguer le charbon, de manière que la chaudière laissât pénétrer le maximum de chaleur. Cette disposition était le résultat de la nature de l'impôt qui se payait par jour et par appareil; ainsi il était de l'intérêt du fabricant de sacrifier le combustible pour économiser le temps.

§ 2. — APPAREILS DE DISTILLATION ET D'ANALYSE DES VAPEURS.

1115. Jusqu'ici ces appareils ont été uniquement employés à la distillation des vins et des autres liqueurs alcooliques.

Pendant longtemps, pour obtenir de l'alcool concentré, ou seulement des eaux-de-vie à un titre élevé, on était obligé de faire une série de distillations qui entraînaient dans beaucoup de frais et de longueurs. Les appareils d'analyse de vapeurs ont pour objet de donner par une seule chauffe, de l'eau-de-vie à un degré quelconque, ou de l'alcool. Le premier appareil est dû à Adam de Montpellier; depuis on en a imaginé un nombre considérable. Nous nous bornerons ici à faire connaître les principes sur lesquels ils sont fondés, et nous décrirons ceux qui sont le plus employés.

1116. Le problème à résoudre est celui-ci : un mélange d'eau et d'alcool contenu dans une chaudière étant mis en ébullition, et produisant un courant continu de vapeur d'eau et de vapeur alcoolique, séparer en totalité ou en partie l'eau de l'alcool.

1117. Tous les appareils construits jusqu'ici sont composés, 1° d'une chaudière dans laquelle on met en ébullition le liquide à distiller ; 2° de deux serpentins dont l'un est destiné à échauffer le liquide pour l'opération suivante, et l'autre à compléter la condensation de la vapeur ; 3° d'un appareil destiné à analyser les vapeurs. C'est dans ce dernier que consiste la différence des systèmes. Dans tous cependant l'appareil d'analyse est disposé de manière à livrer au dernier serpentin les vapeurs suffisamment déphlegmées, et à faire retourner à la chaudière les vapeurs condensées trop aqueuses.

1118. Tous les appareils d'analyse des vapeurs alcooliques sont fondés sur un ou plusieurs des principes que nous allons exposer.

1° Lorsqu'un mélange de vapeurs d'eau et de vapeurs alcooliques passe dans un réfrigérant à air ou à eau, les premières vapeurs qui se condensent sont les plus aqueuses, les dernières sont les plus alcooliques ; si le réfrigérant est insuffisant pour condenser la totalité des vapeurs, celles qui en sortent sont d'autant plus alcooliques, que leur température est moins élevée.

2° Un mélange d'eau et d'alcool bout à une température d'autant plus basse et les vapeurs sont d'autant plus alcooliques, que le mélange renferme moins d'eau et plus d'alcool.

3° Lorsque de la vapeur d'eau pure rencontre une liqueur alcoolique à une plus basse température, la vapeur d'eau se condense en grande partie, et la chaleur résultant de la condensation forme des vapeurs alcooliques.

1119. Dans plusieurs anciens appareils, on avait employé des réfrigérants à air plus ou moins longs, disposés verticalement ; les vapeurs étaient d'autant plus déphlegmées que le canal était plus allongé. Mais comme le canal n'avait jamais une étendue suffisante, il ne produisait qu'une faible rectification.

1120. L'appareil d'Adam, dont l'apparition a fait époque dans l'histoire de la distillation, était fondé sur le second principe. Il était composé d'une chaudière et de plusieurs vases fermés d'une forme ovoïde ; les

communications de ces différents vases étaient établies comme celles d'un appareil de Woolf. La partie supérieure de la chaudière communiquait avec le premier vase par un tuyau qui descendait jusqu'au fond de celui-ci. La partie supérieure du premier vase communiquait avec le second par un tube qui plongeait jusqu'au fond de ce dernier, et ainsi de suite. Enfin, le dernier communiquait avec le premier serpentin. La chaudière, les vases et le premier serpentin étaient d'abord remplis de la liqueur à distiller; on chauffait la chaudière, les vapeurs alcooliques qu'elle produisait se condensaient dans le premier vase; ce liquide, plus alcoolique que celui de la chaudière, entrait bientôt lui-même en ébullition, et produisait des vapeurs plus déphlegmées que celles de la chaudière, qui allaient se condenser dans le second vase, et ainsi de suite. On voit, d'après cela, que les liquides renfermés dans les vases étaient d'autant plus riches en alcool et donnaient des vapeurs d'autant moins aqueuses, qu'ils étaient plus éloignés de la chaudière. L'appareil était disposé de manière que l'on pût mettre en communication avec le serpentin le premier, le deuxième, ou le troisième vase; alors on obtenait à volonté de l'alcool à un degré quelconque. Cet appareil avait le grand inconvénient de produire une pression assez forte dans la chaudière.

1121. A la même époque, Solimani imagina un autre appareil d'analyse des vapeurs, qui était fondé sur le premier principe; cet appareil consistait en un condensateur à plaques parallèles, qui était plongé dans de l'eau à une température constante de 40°. Les vapeurs de la chaudière y arrivaient par le bas; celles qui se condensaient retournaient à la chaudière, et celles qui échappaient étaient très-déphlegmées et passaient dans le réfrigérant, où elles étaient entièrement condensées. En variant la température du condensateur on obtenait à volonté de l'alcool à un degré quelconque. Solimani avait imaginé un appareil très-simple pour maintenir l'eau à une température constante.

1122. L'appareil d'Isaac Bérard, qui parut peu de temps après, était fondé sur le même principe que celui de Solimani, mais la disposition était différente. L'appareil d'analyse des vapeurs consistait en un cylindre deux fois recourbé horizontalement et divisé en treize cases par des diaphragmes verticaux percés supérieurement et inférieurement. Le cylindre était plongé dans l'eau, et on pouvait à volonté faire parcourir aux vapeurs sortant de la chaudière un certain nombre des cases du

serpentin : il est évident que les vapeurs étaient d'autant plus déphlegmées, qu'elles en avaient parcouru un plus grand nombre.

1123. Nous ne pouvons pas entrer dans plus de détails sur ces appareils ; nous renvoyons, pour leur histoire, aux *Annales de l'industrie,* à l'ouvrage de Lenormand sur la distillation, à celui de F. Hermbstædt (Berlin, 1823), et pour l'art de la distillation, au Traité plus récent publié par M. Dubrunfaut, qui, sans contredit, est le meilleur ouvrage qui ait paru sur cette branche importante de l'industrie.

1124. Nous décrirons cependant avec quelques détails l'appareil de M. Ch. Derosnes, parce que c'est le plus parfait de tous, et qu'il satisfait à une condition importante, celle de la continuité du travail. Il est fondé sur le premier et sur le troisième principe.

1125. *Appareil distillatoire de M. Derosnes.* Cet appareil est essentiellement composé (fig. 3, pl. 46.) de deux chaudières A et A′, d'une colonne distillatoire B, d'un rectificateur C, d'un condensateur chauffe-vin D, d'un réfrigérant E, d'un seau de vidange à robinet régulateur F et d'un réservoir à vin G.

La chaudière A est garnie de la douille H destinée à la remplir, et du robinet R destiné à la vider. Le tube de verre x fait connaître la hauteur du liquide qu'elle contient. Le tuyau z conduit la vapeur au fond de la chaudière A′.

La chaudière A′ est chauffée par le conduit à fumée du foyer de la chaudière A ; la douille H′ et le tube de verre x' ont la même destination que dans la première. Le robinet R′ sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première.

La colonne distillatoire B renferme une série de diaphragmes à travers lesquels le vin tombe très-divisé et sous la forme de pluie, afin qu'il présente une très-grande surface à la vapeur qui chemine en sens contraire. Les pièces qui forment la colonne sont disposées de deux manières différentes. Dans la première, la vapeur est obligée de vaincre une pression de liquide de 2 centimètres environ ; dans l'autre, les diaphragmes sont garnis d'un grand nombre de tiges entre lesquelles la vapeur est obligée de passer. M. Derosnes regarde ces deux dispositions comme également bonnes, mais il préfère la dernière pour les liquides pauvres. La première présente plus de facilités pour le nettoyage des diaphragmes.

Des douilles latérales sont disposées de manière à faciliter cette dernière opération.

Le rectificateur C est disposé de la même manière que le reste de la colonne ; il ne reçoit point d'autre liquide que celui qui se forme dans les premières hélices du condensateur D.

Le condensateur D est un cylindre de cuivre placé horizontalement, et qui est divisé en deux parties inégales par le diaphragme T ; une ouverture pratiquée à la partie inférieure de ce diaphragme laisse communiquer entre elles ces deux capacités du condensateur. Le condensateur renferme un serpentin à hélices verticales dont l'origine communique avec le tuyau M qui termine la colonne distillatoire, et qui aboutit au tuyau O. Chaque spire reçoit à sa partie inférieure un petit tuyau *a* qui sort du condensateur, et communique avec un tuyau en pente, qui, au moyen d'un autre tuyau et de robinets convenablement disposés, peut conduire le liquide condensé dans une partie ou dans la totalité des spires, soit dans le tuyau O, soit dans le rectificateur. U, V, X, sont des ouvertures destinées à permettre le nettoyage de la colonne B. L est un tuyau qui conduit le vin chaud du condensateur à la colonne distillatoire.

Le réfrigérant E est un cylindre de cuivre fermé de toutes parts ; il contient un serpentin dont l'origine communique avec le tuyau O, et dont l'extrémité inférieure permet l'écoulement au dehors du produit de la distillation. Il est surmonté d'un tuyau K, qui alimente de vin le condensateur. La partie inférieure du réfrigérant est alimentée elle-même par le tuyau qui amène le vin froid.

Le seau de vidange F est garni d'un robinet qui sert à régler l'écoulement du vin dans l'appareil : ce vase est alimenté par le réservoir G. Le liquide y est maintenu à une hauteur constante par un robinet à flotteur.

Pour mettre l'appareil en fonction, on commence par emplir la chaudière A du liquide à distiller, au moyen de la douille H ; on en verse jusqu'à ce que le niveau s'élève jusqu'à 2 ou 3 pouces au-dessous de l'extrémité de l'indicateur *x*. On emplit également la chaudière A′, mais on élève le niveau jusqu'à 5 ou 6 pouces au-dessus du robinet de décharge R′ : on observe le niveau à l'aide de l'indicateur *x′*. Alors on ouvre le robinet *r* ; le tube I, le réfrigérant E et le condensateur D se remplissent de vin, l'air s'échappe par la douille H′, et aussitôt que l'on

reconnaît, par l'élévation du niveau du liquide dans la chaudière A′, que le vin déverse par le tuyau L, on ferme le robinet *r*.

On allume le foyer placé sous la chaudière A ; aussitôt que le vin renfermé dans cette chaudière entre en ébullition, la vapeur s'échappe par le tuyau *z*, vient se condenser dans la chaudière A′, élève la température du liquide qui y est contenu, et comme cette chaudière est en outre chauffée par la fumée du foyer, le liquide ne tarde pas à y entrer en ébullition; les vapeurs alcooliques s'élèvent dans la colonne B, pénètrent dans les spires des serpentins, s'y condensent en grande partie, et les produits retournent en partie dans le rectificateur. Lorsque le réfrigérant D est suffisamment échauffé pour que l'on ne puisse plus y tenir la main, on ouvre les robinets R, R′, *r*, et la distillation continue. Le vin arrivé par le tuyau I monte dans le réfrigérant E, où il commence déjà à s'échauffer, arrive dans la partie D′ du condensateur dans laquelle il s'échauffe encore davantage, de là il passe, par l'ouverture inférieure du diaphragme T, dans la partie D″ du condensateur, où sa température s'élève presque jusqu'à l'ébullition; de là il tombe par le tube L dans la colonne distillatoire B, qu'il parcourt dans un état de division extrême. Arrivé dans la chaudière A′, il passe dans la chaudière A par le robinet R′, et de cette dernière il sort par le robinet R. Quant à la vapeur, elle suit la même route, mais son mouvement est dirigé en sens contraire. Pour voir comment se fait la séparation de l'alcool dans cet appareil, considérons d'abord l'instant auquel le liquide renfermé dans la chaudière A a perdu tout son alcool. Le liquide de A′ est en pleine ébullition, le vin est presque bouillant dans le condensateur, et les vapeurs qui s'élèvent ainsi que le vin qui tombe dans la colonne B se rencontrent en se présentant de très-grandes surfaces; alors les vapeurs et le vin chaud s'analysent mutuellement, tout l'alcool qu'ils renferment s'élève, et une grande partie de l'eau, ainsi que la vinasse, retombent dans la chaudière A′. Après un certain temps, la chaudière A′ ne renferme presque plus d'alcool, et la petite quantité qu'elle pourrait encore en contenir se dégage avec les vapeurs qu'elle fournit constamment, et s'il arrivait que le vin ne fût pas encore complétement dépouillé d'alcool dans la chaudière A′, il le serait dans la chaudière A.

Ce qui se passe entre la vapeur et le vin chaud, dans la colonne distillatoire, a lieu dans le rectificateur C, entre la vapeur alcoolique formée

dans la colonne distillatoire, et l'alcool qui s'est formé dans les premières spires du condensateur, et qui entre dans le rectificateur par la partie supérieure seulement ; le liquide qui tombe est encore riche en alcool, mais il est ensuite analysé dans la colonne B.

Ainsi, quand cet appareil est bien conduit, le vin y arrive continuellement, et la vinasse en sort aussi d'une manière continue.

On conçoit facilement que l'alcool que l'on obtiendra sera d'autant plus rectifié, que l'on fera communiquer avec le rectificateur un plus grand nombre de spires du serpentin du condensateur. On détermine par expérience, suivant la richesse du liquide et le degré de l'alcool qu'on veut obtenir, quels sont les robinets qu'on doit laisser ouverts.

L'appareil de M. Derosnes peut s'appliquer très-facilement à la distillation sans continuité ; il suffit pour cela de remplir le réservoir, le réfrigérant et le condensateur avec de l'eau, et de luter l'extrémité inférieure du tube L, qui servirait alors à évacuer l'eau chaude.

1126. L'appareil que nous venons de décrire ne laisse rien à désirer sous le rapport de l'économie du combustible, de la rapidité des opérations et de la qualité des produits. Mais il est compliqué, parce qu'il est disposé de manière à permettre d'opérer sur des liquides d'une richesse alcoolique quelconque, et d'obtenir de l'alcool à un degré quelconque de concentration. Des appareils qui seraient destinés à distiller toujours des liquides de même nature et à produire des liqueurs alcooliques au même titre, seraient beaucoup plus simples. C'est le cas de l'appareil de M. Laugier, représenté planche 47, qui est destiné à la fabrication des eaux-de-vie de fécule. La figure 1 est une coupe longitudinale de l'appareil, la figure 2, le plan sans le fourneau, et la figure 3, une coupe du fourneau, suivant AB.

L'opération marche d'une manière continue. Le liquide à distiller est versé par l'entonnoir *p* dans le vase A, où il arrive à la partie inférieure pour servir à la condensation des vapeurs alcooliques, et produire un écoulement continu d'alcool par l'extrémité du serpentin renfermé dans le vase A. De ce vase, le liquide échauffé se rend, par le tube de communication *r*, dans le second vase B, où s'opère la rectification, au moyen du serpentin condensateur imaginé par M. Laugier. Le liquide se rend ensuite par le tube *cc* dans la seconde chaudière de distillation C, chauffée par la chaleur perdue du foyer placé sous la première

chaudière D, où se termine l'épuisement de la vinasse. *e* est le tuyau qui sert à faire passer le liquide de la seconde chaudière dans la première; *bb*, le tube qui conduit les vapeurs alcooliques dans le rectificateur. Le tube *cc*, dont nous avons parlé, et qui est représenté figure 4, est disposé de manière à prendre le liquide fermenté à la partie inférieure du vase B où il est plus échauffé; et pour que le vase B reste toujours plein, ce tube est recourbé en forme de siphon, et sa partie supérieure est en communication avec le serpentin condensateur, et par conséquent avec l'air, au moyen du tube *j*; *d*, tube ramenant les vapeurs condensées du rectificateur dans la chaudière C; *f*, tuyau de vidange de la vinasse épuisée; *g* et *h*, niveaux d'eau; *i*, tube conduisant les vapeurs non condensées du rectificateur dans le serpentin condensateur; *o*, tube qui met en communication le vase B avec le serpentin et par suite avec l'air extérieur.

Dans cet appareil, la rectification se fait d'elle-même. A cet effet, M. Laugier a disposé son serpentin rectificateur (fig. 5) de manière que les vapeurs alcooliques arrivent par la partie inférieure pour parcourir en montant toutes les hélices du serpentin; mais afin que les liquides ne s'opposent pas au mouvement des vapeurs, chaque hélice renvoie directement par un tube *t* les produits de la condensation dans un réservoir qui les conduit à la chaudière. Chaque hélice doit par conséquent être inclinée de manière que les vapeurs suivent le même chemin que les liquides, et la communication des hélices doit se faire par des tubes verticaux qui servent au passage des vapeurs d'une hélice dans l'autre. Le nombre des hélices doit être tel qu'on obtienne à la sortie de l'appareil, par la condensation complète des vapeurs, de l'alcool qui ait le degré commercial voulu.

Si le nombre des hélices était plus considérable, et si les tubes t, t', t'' communiquaient à l'extérieur avec de petits réservoirs séparés, il est évident qu'ils donneraient de l'alcool marquant des degrés de plus en plus élevés.

A la sortie du rectificateur, les vapeurs se rendent par le tube *i* dans le serpentin condensateur (fig. 6), dont le tube a un diamètre qui va constamment en diminuant à mesure que la condensation est plus avancée, jusqu'à l'extrémité où elle doit être complète et donner lieu à un écoulement continu d'alcool suffisamment refroidi.

§ 3. — APPAREILS DE DISTILLATION DANS LESQUELS LA CHALEUR EST UTILISÉE PLUSIEURS FOIS.

1127. Dans la distillation simple, la chaleur absorbée par la chaudière se dégage en totalité dans la vapeur, et une grande partie de cette dernière passe dans le liquide réfrigérant. Par exemple, dans la distillation de l'eau, en supposant que l'eau condensée soit à 50°, la vapeur renfermant 650 unités de chaleur, le liquide réfrigérant absorbe les $\frac{12}{13}$ de la chaleur entraînée par la vapeur. Dans tous les cas, on peut employer une partie de cette chaleur pour chauffer le liquide destiné aux opérations suivantes; mais, à moins que le liquide ne doive être vaporisé qu'en partie seulement, il y a toujours beaucoup de chaleur perdue.

1128. Mais on peut employer un grand nombre de fois la chaleur qu'exige une première distillation, pour produire d'autres distillations. En effet, lorsque la vapeur se condense, elle émet exactement toute la chaleur qu'elle a absorbée lors de sa formation; et par conséquent, s'il n'y avait pas de chaleur perdue par le refroidissement de l'appareil, et si le liquide distillé était à la température extérieure, on pourrait employer un nombre infini de fois la même chaleur à produire la distillation de masses égales de liquide; mais comme le liquide devrait entrer en ébullition, il faudrait nécessairement que toutes les distillations se fissent à des pressions décroissantes, afin qu'il y eût entre le lieu où la vapeur se condense et le lieu où la chaleur latente de cette vapeur produit une nouvelle vaporisation, une différence de température nécessaire à la transmission de la chaleur. Nous commencerons d'abord par exposer le cas le plus simple, celui où les distillations successives ont lieu dans le vide.

Considérons (fig. 21, pl. 45) une série d'enveloppes métalliques A, A′, A″, A‴, dont les intervalles sont exactement fermés; la capacité centrale et les intervalles des enveloppes peuvent communiquer avec l'air extérieur par des tubes garnis des robinets a, a', a'', a''', et avec une chaudière à vapeur par d'autres tubes garnis des robinets b, b', b'', b'''. Sur le sommet des enveloppes se trouvent des réservoirs D, D′, D″, D‴, percés latéralement d'un grand nombre de petits orifices destinés à faire écouler, sur les surfaces extérieures des enveloppes au-dessus desquelles ils sont placés, le liquide qu'ils renferment. Ces réservoirs sont

alimentés par des tubes qui communiquent avec un réservoir extérieur renfermant la liqueur à distiller. Les rigoles annulaires c, c', c'', c''' sont destinées à recevoir le liquide qui s'écoule contre les surfaces intérieures des enveloppes, et les rigoles d, d', d'', d''', celui qui s'écoule contre les surfaces extérieures. Toutes les rigoles, excepté la dernière d''', communiquent par des tubes e, e', e'', e''', f, f', f'', f''' avec des vases fermés, garnis chacun d'un robinet à la partie inférieure. Enfin, au-dessous de la capacité centrale se trouve une chaudière B, munie d'un double fond C, destiné à recevoir de la vapeur d'un générateur voisin; D est le tuyau de vidange de la chaudière; E, le tuyau d'admission de la vapeur; et F, le tuyau d'écoulement de l'eau condensée. Le tuyau d'alimentation de la chaudière B n'est pas indiqué dans la figure.

Supposons qu'on ouvre les robinets a, a', a'', a''', b, b', b'', b''', ainsi que ceux qui sont adaptés aux vases auxquels aboutissent les tubes e', e', e'', e''', f, f' f'' f''', la vapeur du générateur s'introduira dans les différentes capacités et dans les vases, et, dans un temps très-court, l'air en sera expulsé. Si alors on ferme tous les robinets, la vapeur, en se condensant, produira dans toutes les capacités un vide qui variera avec la température de l'eau et avec celle de la vapeur. Supposons maintenant qu'on remplisse la chaudière B, et qu'on amène le liquide à l'ébullition en introduisant de la vapeur dans le double fond C, et qu'en même temps on fasse arriver du liquide froid dans les réservoirs D, D', D'', D''', de manière que toutes les enveloppes A, A', A'', A''' soient recouvertes d'une lame mince de liquide. Il est évident que les vapeurs qui se développeront dans la capacité centrale M se condenseront contre la surface intérieure de l'enveloppe A, et que le liquide condensé tombera dans la gouttière c; que le liquide qui mouille les surfaces extérieures de toutes ces enveloppes sera vaporisé, que les vapeurs iront se condenser contre les surfaces intérieures des mêmes capacités, que le liquide non vaporisé se réunira dans les gouttières d, d', d'', d''', le produit de la distillation dans les gouttières e, e', e'', e''', d'où ils se rendront dans les vases correspondants; et qu'enfin, si les liquides sortaient à la température ordinaire, on pourrait augmenter le nombre des enveloppes autant qu'on voudrait, et chacune d'elles distillerait exactement la même quantité de liquide, en employant successivement la chaleur absorbée par la première vaporisation.

La disposition de l'appareil que nous venons de décrire a uniquement pour objet de faire comprendre le principe de l'emploi successif de la même chaleur pour produire le même effet, et non de représenter un appareil qu'on puisse employer. Tel qu'il est indiqué, sa construction présenterait de très-grandes difficultés, surtout pour rendre les joints parfaitement étanches.

1129. La figure 4 (pl. 46) représente une disposition qui offrirait moins de difficulté dans l'exécution et plus de simplicité dans l'usage. A est une chaudière ordinaire dont la partie supérieure communique avec le serpentin B, qui aboutit au vase C. Le cylindre A′, qui environne le serpentin B, communique de même avec un serpentin B′, et ce dernier avec le vase C′, et ainsi de suite. L'appareil est alors composé d'une série de chaudières et de serpentins terminés par des vases fermés, et chaque chaudière est chauffée par la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs de l'appareil précédent. Un tube EF, qui communique avec un générateur, conduit la vapeur dans les vases A, A′, A″, A‴ par des tubes garnis des robinets a, a', a'', a'''. Le tube DD′, qui communique avec le réservoir du liquide à distiller, le conduit dans les capacités A, A′, A″, A‴ par des tubes garnis des robinets b, b', b'', b'''. Les robinets d, d', d'', d''' sont les robinets de vidange des chaudières. Supposons que toutes les capacités étant pleines d'air, on ouvre les robinets a, a', a'', a''', c, c', c'', c''', il est évident que l'air sera expulsé par la vapeur. Si, après quelques instants, on ferme ces robinets et si on ouvre les robinets b, b', b'', b''', les vases A, A′, A″, A‴ se rempliront du liquide à distiller; lorsque les vases seront remplis à la hauteur convenable, on fermera les robinets et on chauffera la chaudière A; les vapeurs produites se réuniront en C, le liquide de A′ ne tardera pas à entrer lui-même en ébullition; et, dans un temps assez court, l'ébullition existera dans tous les vases, excepté dans le dernier, qui est ouvert et qui ne doit renfermer que de l'eau. Les chaudières peuvent être alimentées pendant l'opération; mais, pour vider les chaudières A, A′, A″, A‴, ainsi que les vases C, C′, C″, C‴, il faut faire rentrer l'air dans chacun des appareils distillatoires, ou faire communiquer les vases qu'on veut vider avec d'autres dans lesquels on aurait fait le vide par la vapeur.

1130. Dans ce qui précède, nous avons supposé qu'on faisait le vide par la vapeur; on pourrait le produire par une machine pneumatique

ou par une disposition très-simple qu'il est bon de connaître; nous l'appliquerons d'abord à un appareil à simple effet représenté (fig. 5, pl. 46).

A est une chaudière de distillation ordinaire, placée à une assez grande hauteur pour qu'un tuyau EF, qui part de sa partie inférieure et qui plonge dans un vase M ouvert et plein du liquide à distiller, ait une hauteur plus grande que celle qui ferait équilibre à la pression atmosphérique. Cette chaudière communique avec un serpentin B placé dans un vase ouvert alimenté par de l'eau à la méthode ordinaire. Le tube de communication de la chaudière avec le serpentin est interrompu par deux tubes de verre parallèles *ab* et *cd*, communiquant par leur partie inférieure, l'un avec la chaudière, l'autre avec le serpentin, et entre eux par la partie supérieure, au moyen d'un tube métallique garni d'un petit robinet *e*. Le serpentin se termine par un tube CD qui plonge, par sa partie inférieure, dans un vase N, renfermant jusqu'à une certaine hauteur le produit de la distillation. La chaudière et le serpentin sont surmontés chacun d'un tube garni d'un robinet et terminé par un entonnoir. Enfin, du fond de la chaudière part un tube IK qui plonge dans un vase P, rempli en partie du résidu de la distillation. Pour faire le vide dans l'appareil, on ferme tous les robinets, excepté ceux qui sont désignés par les lettres *e*, *f*, *g*, et on verse du liquide à distiller par l'entonnoir G, et du liquide distillé par l'entonnoir H. L'air renfermé dans l'appareil se dégage par le robinet *e*; lorsque les deux niveaux ont atteint le sommet des tubes de verre *ab* et *cd*, on ferme les robinets *e*, *f*, *g*, et on ouvre les robinets *i* et *h*; les liquides renfermés dans A et B s'écoulent, et il n'y reste qu'une faible pression résultant de l'air qu'on n'a pas expulsé, et de celui qui a pu se dégager des liquides introduits. Si on voulait obtenir un vide plus complet, on pourrait remplir de nouveau l'appareil ou employer des liquides qui auraient été purgés d'air par une récente ébullition; mais cette exactitude n'est pas nécessaire. On ferme alors le robinet *h*, et on remplit la chaudière A du liquide à distiller, en ayant bien soin de ne pas laisser rentrer l'air, et, pour cela, il faut remplacer l'entonnoir G par un vase d'une grande capacité renfermant le liquide à distiller. La chaudière étant pleine, on verse de l'eau dans le vase qui environne le serpentin, et on chauffe la chaudière A. Le vase P et le tube IK servent à vider la chaudière A quand cela est nécessaire, sans introduire de l'air; il suffit, pour cela, d'ouvrir les robinets *m* et *n*. Le

robinet supérieur est destiné à ne pas introduire de liquide non distillé dans le tube IK, quand on fait le vide. On voit que si les joints de l'appareil étaient parfaitement étanches, il ne serait nécessaire de faire le vide qu'une seule fois.

1131. La figure 1re (pl. 48) représente un appareil à effets multiples, disposé d'une manière analogue. Les chaudières A, A′, A″, A‴ communiquent toutes entre elles et avec un tube vertical qui plonge dans un vase N renfermant du liquide à distiller. Elles communiquent également avec un autre tube vertical plongé dans un vase P renfermant le résidu de la distillation; enfin, tous les serpentins communiquent entre eux et avec un tube vertical qui plonge dans le vase M qui reçoit le liquide distillé. Tous les vases communiquent, en outre, avec un grand tube CC′, constamment rempli par un réservoir supérieur de liquide à distiller; les tubes de communication des chaudières et des serpentins sont garnis de tubes de verre parallèles et de robinets à air; enfin, le tube vertical, qui est en communication avec les serpentins, porte un tube latéral qui s'élève à une hauteur qui dépasse celle des tubes à air, et qui est terminé par un robinet et un entonnoir.

Pour faire le vide dans l'appareil, on ferme les robinets i et h, on ouvre les robinets e, e', e'', e''', a, a', a'', a''', b, b', b'', b''', et on verse du liquide distillé par l'entonnoir H. Lorsque les niveaux sont arrivés au sommet des tubes de verre, on ferme les robinets e, e', e'', e''', a, a', a'', a''' et g, et on ouvre les robinets i et h. Lorsque les vases et les serpentins sont vides, on ferme les robinets h, b, b', b'', b''', on remplit les vases par les robinets a, a', a'' a''', et on chauffe la chaudière A. Pour enlever les liqueurs épuisées, on emploie les robinets c, c', c'', c''' et n; elles se réunissent dans le vase P.

Cette disposition présenterait une très-grande économie de combustible, surtout si les vases distillatoires étaient enveloppés de manière à ne perdre que peu de chaleur par le milieu environnant, et si on chauffait le liquide à distiller par le liquide distillé. Mais tel qu'il est décrit, l'appareil est déjà bien compliqué; il serait d'ailleurs difficile de rendre tous les joints parfaitement étanches, et surtout les robinets; on pourrait cependant placer les robinets dans des vases renfermant de l'eau ou une huile visqueuse qui pénétreraient plus difficilement que l'air à travers les petits interstices qui pourraient exister.

1132. La figure 2 (pl. 48) représente l'élévation d'un appareil destiné à employer quatre fois de suite la chaleur développée dans le foyer, en opérant les distillations sous des pressions plus grandes que celle de l'atmosphère. L'appareil se compose d'une chaudière A, chauffée directement, et qui communique avec un serpentin B se terminant par un réservoir fermé C; les vases fermés A′, A″, A‴, qui sont chauffés par la condensation des vapeurs, communiquent de même avec les serpentins des vases qui suivent, et qui se terminent par des vases fermés C, C′, C″; les chaudières A, A′, A″, A‴ sont garnies de soupapes D, D′, D″, D‴, qui ne permettent à la vapeur de se dégager que sous une pression déterminée; les poids de ces soupapes doivent être calculés de manière que les différences de température des chaudières soient les mêmes, afin que les quantités de vapeur produites par les différents appareils soient égales. Dans la chaudière A‴, dont le serpentin communique avec un vase ouvert, la température sera de 100°; ainsi, si on suppose, pour effectuer la condensation, que la différence de température des serpentins et de l'eau environnante soit de 10°, dans la chaudière A″, la température devra se trouver à 110; elle sera de 120 dans la chaudière A′, et de 130 dans la chaudière A. Le dernier serpentin B‴ est plongé dans un vase ouvert renfermant de l'eau, et le vase C‴ auquel il aboutit est aussi complétement ouvert. Chaque chaudière communique par un tuyau garni d'un robinet avec un tube EF qui est constamment plein du liquide à distiller; elle est en outre garnie d'un tube de niveau, d'une soupape de sûreté et d'un tuyau de vidange. Les vases C, C′, C″, C‴ sont également garnis de tubes de niveau et de robinets de décharge qui sont placés sur un tuyau commun refroidi. Pour faire fonctionner l'appareil, on remplit les chaudières du liquide à distiller, et on règle le feu de manière que les soupapes de sûreté des chaudières restent fermées; l'ébullition s'établit bientôt dans tout l'appareil. On peut vider les chaudières en totalité ou en partie pendant l'opération par les robinets *b*, *b*′, *b*″, *b*‴, et on peut les remplir en ouvrant les robinets *a*, *a*′, *a*″, *a*‴, en supposant toutefois que le réservoir alimentaire soit assez élevé; dans le cas contraire, l'alimentation pourrait se faire au moyen d'un vase intermédiaire, terminé par deux robinets, qu'on remplirait d'abord de liquide en ouvrant le robinet supérieur, et qu'on viderait ensuite dans la chaudière en ouvrant le robinet inférieur; il faudrait évidemment que le tube d'ali-

mentation ne plongeât pas dans le liquide de la chaudière, et que le robinet inférieur eût un orifice assez grand pour permettre au liquide de tomber, et à la vapeur de s'élever dans le vase. On pourrait aussi employer les différents appareils d'alimentation des chaudières à haute pression dont nous avons parlé.

1133. On pourrait également vider les vases C, C′ C″, C‴, pendant l'opération ; mais il faudrait refroidir par un courant de liquide le tube GH par lequel les liquides distillés s'écoulent, attendu que tous, excepté celui du vase C‴, se trouvent à une température supérieure à celle de leur ébullition dans l'air.

1134. Cet appareil serait beaucoup plus facile à exécuter et à conduire que celui dont nous avons parlé précédemment ; je ne connais pourtant aucun cas de distillation dans lequel l'économie de combustible soit assez importante pour permettre d'employer un appareil aussi compliqué. Il n'en est pas de même de l'évaporation, et nous verrons dans le chapitre suivant, que des dispositions analogues sont employées dans plusieurs grandes industries.

CHAPITRE XI.

ÉVAPORATION.

1135. La distillation et l'évaporation ont toutes deux pour objet de séparer une ou plusieurs substances volatiles, mêlées ou combinées avec des substances fixes ou seulement moins volatiles; mais dans la distillation le but est de recueillir les substances volatiles, au lieu que dans l'évaporation le but est de recueillir les matières fixes ou celles qui sont moins volatiles.

1136. L'évaporation et la distillation ont encore une autre différence essentielle; la distillation, devant toujours avoir lieu en vase clos, ne peut s'effectuer qu'à la température de l'ébullition; l'évaporation, au contraire, peut s'effectuer à toutes les températures, du moins quand elle a lieu dans des vases ouverts où l'air puisse facilement se renouveler. L'évaporation en vase clos est une véritable distillation.

1137. L'évaporation peut s'effectuer dans un grand nombre de circonstances particulières; elles sont toutes comprises dans la nomenclature suivante :

Évaporation spontanée à l'air libre;

Évaporation par un courant d'air forcé à la température ordinaire;

Évaporation à vase ouvert par l'action directe d'un foyer;

Évaporation d'un liquide échauffé par un courant d'air forcé froid ou chaud;

Évaporation par la vapeur;

Évaporation dans le vide;

Évaporation par l'emploi réitéré de la même chaleur.

Nous examinerons successivement ces différents cas.

§ 1. — ÉVAPORATION SPONTANÉE A L'AIR LIBRE.

1138. Ce mode d'évaporation est principalement employé pour concentrer les dissolutions de sel marin. Examinons d'abord les phénomènes qui accompagnent l'évaporation spontanée, afin d'en déduire les circonstances les plus avantageuses à ce mode d'évaporation.

1139. Lorsqu'un liquide est exposé à l'air libre, l'air situé au-dessus de lui se sature de vapeur, il devient plus léger, s'élève, et se trouve bientôt remplacé par de nouvelles couches d'air, qui, après s'être saturées, s'élèvent à leur tour, et ainsi de suite. Il se forme donc deux courants, l'un de couches saturées qui montent; l'autre de couches dans leur état naturel, qui descendent sur le liquide. Ce mouvement est absolument semblable à celui qui a lieu dans une masse d'air qu'on échauffe par le bas. La quantité de vapeurs que le liquide peut fournir à l'air ambiant est proportionnelle à la différence entre la tension du liquide et celle de la vapeur déjà existante dans l'air. Ainsi, toutes choses égales d'ailleurs, l'évaporation dans le même temps sera d'autant plus grande que le liquide sera plus chaud, et que l'air sera plus éloigné de la saturation. Il est évident que si l'air est déjà saturé de vapeur d'eau, l'évaporation sera nulle : c'est ce qui arrive toujours après un certain temps, quand l'air qui est au-dessus du liquide ne communique pas librement avec l'atmosphère, car il a bientôt atteint le point de saturation, et l'évaporation qui, jusqu'à cet instant, est allée continuellement en diminuant, cesse alors complétement.

1140. Si l'air est fortement agité, les couches qui viennent se saturer à la surface du liquide se renouvellent beaucoup plus promptement que quand leur mouvement est uniquement dû aux variations de densité; par conséquent l'évaporation est beaucoup plus rapide. Il est encore évident que l'évaporation n'ayant lieu qu'à la surface même du liquide, tout étant égal d'ailleurs, l'effet produit dans un temps donné croît avec l'étendue de cette surface.

1141. De là nous pouvons conclure que l'évaporation spontanée est d'autant plus active,

1° Que la surface libre du liquide est plus étendue;

2° Que la température du liquide et de l'air ou seulement de l'un des deux est plus élevée;

3° Que l'air est plus sec;

4° Que l'air est plus fortement agité.

1142. Dans les appareils d'une grande dimension, on ne peut disposer complétement que d'un seul des éléments précédents, l'étendue de la surface du liquide, et l'on est obligé de subir l'influence de toutes les variations des autres éléments occasionnées par les changements de l'atmosphère; seulement on a soin de choisir pour les opérations la saison la plus chaude de l'année et l'exposition la plus favorable.

Jusqu'ici on n'a employé que deux méthodes d'évaporation spontanée, et toutes deux n'ont encore été appliquées qu'à l'extraction du sel marin.

1143. La première consiste à exposer la dissolution saline dans de grands bassins d'une très-petite profondeur, situés sur les bords de la mer ou des étangs qui communiquent avec elle; l'eau de mer est élevée dans ces bassins ou par des machines hydrauliques ou par des machines à vapeur. L'opération commence ordinairement dans le mois de mars et se termine en septembre. Les bassins sont garnis d'argile et sont ordinairement de deux espèces : les premiers, plus grands et plus profonds que les autres, reçoivent les eaux neuves qui y sont concentrées jusqu'à saturation; les autres, d'une petite profondeur, reçoivent des premiers les eaux qui y déposent les cristaux.

1144. Le second mode d'évaporation consiste à remplir de fascines un bâtiment à claire-voie en bois, au-dessus duquel on élève les eaux à évaporer, et que l'on fait tomber à travers des fascines; l'eau, divisée par les nombreux obstacles qu'elle rencontre dans sa chute, présente une grande surface à l'air, et éprouve, surtout quand l'air est sec et agité, une forte évaporation. Ces appareils portent les noms de bâtiments de graduation; ils ont un grand avantage sur le premier mode d'évaporation, parce qu'ils sont abrités de la pluie, et qu'on ne les met en activité que dans les circonstances favorables. (Voir, pour plus de détails, le 2e volume du Traité de chimie appliquée aux arts, de M. Dumas.)

1145. Dans toutes les évaporations spontanées, la chaleur nécessaire à la vaporisation est fournie par le liquide et par l'air; l'évaporation ne coûte donc que l'intérêt du capital employé en terrain, bâtiments, machines, le prix de la main d'œuvre et celui d'une certaine quantité de combustible quand les eaux sont élevées par des machines à vapeur. Le

prix de l'évaporation spontanée est beaucoup plus petit que celui de l'évaporation par la chaleur : en effet, d'après M. Payen, le prix de l'extraction de 100 kilog. de sel dans les marais salants, varie de 0f,60 à 2f,50 suivant la localité et les circonstances atmosphériques qui ont accompagné l'opération; or, l'eau de la mer renfermant 0,025 de sel marin, pour extraire 100 kilog. de sel, il faudrait évaporer 3900 kilog. d'eau, évaporation qui exigerait à peu près 3900 : 5 = 780 kilog. de houille, qui, au prix moyen de 3 francs l'hectolitre de 80 kilog., coûteraient 29f,25c.

1146. L'évaporation spontanée ne peut pas se produire sur toutes les dissolutions de sels ou d'autres matières solubles dans l'eau, parce qu'il y a un grand nombre de ces substances qui, ayant une grande affinité pour l'eau, ne peuvent la céder à l'air que quand elles en renferment une grande quantité; quand, au contraire, elles sont en dissolutions très-concentrées, non-seulement l'évaporation spontanée n'a plus lieu, mais plusieurs d'entre elles absorbent au contraire l'humidité de l'air. Pour celles-là, il faut nécessairement avoir recours à l'évaporation par la chaleur.

§ 2. — ÉVAPORATION PAR UN COURANT D'AIR FORCÉ A LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE.

1147. L'évaporation spontanée des liquides dans l'air atmosphérique croît, comme nous l'avons vu, à mesure que la surface du liquide est plus étendue, que l'air se meut plus rapidement, et qu'il est plus sec et plus chaud.

1148. La plupart et même la totalité de ces circonstances peuvent être réunies artificiellement; le mouvement de l'air exigerait la dépense d'une force motrice; la dessiccation de l'air, celle d'une substance très-hygrométrique; et son échauffement celle d'un combustible. Je ne crois pas qu'on ait fait encore d'expériences sur l'évaporation par un courant d'air forcé, desséché et chauffé. Mais Montgolfier a fait, sur l'évaporation par un courant d'air atmosphérique dans l'état où il se trouve ordinairement, des expériences qui présentent un grand intérêt; elles ont été rapportées par Clément et Desormes, dans un mémoire inséré dans les *Annales de chimie,* tome 76.

1149. Le projet de Montgolfier était de concentrer des marcs de raisin avant leur fermentation, en leur conservant tous les principes fermentescibles, de manière qu'ils pussent être transportés à peu de frais, et convertis partout en vin, en les délayant avec une suffisante quantité d'eau et les faisant fermenter. Pour satisfaire à ces conditions, il fallait opérer la concentration rapidement, et à une température peu élevée.

1150. Le principe de l'appareil de Montgolfier est le même que celui sur lequel sont fondés les bâtiments de graduation, dont nous avons parlé, mais le liquide très-divisé était traversé par un courant d'air produit à l'aide d'une machine.

Les premiers essais de Montgolfier eurent lieu en 1794; il fit plusieurs conserves de fruits, entre autres celles de pommes et de raisin. La première, qui était en grande quantité, car il en avait fabriqué plus de 1500 kilog., avait un goût très-agréable. En 1797 il répéta ses expériences à Paris, et il obtint des résultats aussi satisfaisants.

1151. Montgolfier avait reconnu que, dans l'état ordinaire où se trouve l'air en automne, il peut, terme moyen, dissoudre 3 grammes d'eau par mètre cube, en ayant égard à sa température et à son état hygrométrique. Or un homme, par son travail d'un jour composé de 6 heures d'un travail effectif, peut donner, à l'aide d'une machine, 5 mètres de vitesse à environ 70,000 mètres cubes d'air. La quantité d'eau qu'il pourra évaporer sera donc 70,000 × 3 g. = 210 kilog.; en supposant que le prix de la journée d'un manœuvre coûte 1 f. 50, on voit que l'évaporation de 100 kilog. d'eau coûterait $\frac{1,50}{2,10} = 0$ f., 71, tandis que, par la méthode ordinaire, cette quantité de vapeurs exigerait à peu près 20 kilog. de houille, dont le prix est 1 fr. : en ajoutant à cette dépense celle des chaudières, des fourneaux, leurs réparations, les journées du chauffeur, etc., on verra que le mode d'évaporation par un courant d'air forcé est beaucoup plus économique que celui qui est ordinairement employé.

On pourrait d'ailleurs réduire beaucoup la dépense de l'évaporation par l'air, en diminuant sa vitesse, car on sait que la force vive qui est réellement celle que l'on consomme et que l'on paye, croît comme le

carré de la vitesse; ainsi en diminuant la vitesse de moitié, on pourrait quadrupler, avec le même travail, la masse d'air mise en mouvement.

En admettant que le sucre forme un quart du moût de raisin, la concentration de 400 kilog. de sirop exigerait une dépense de 2 fr. 10.

1152. On pourrait employer un grand nombre d'appareils différents pour produire le courant d'air qui doit traverser le liquide; le plus simple est le ventilateur à force centrifuge de Désaguillier.

Les figures 3 et 4 (pl. 48) représentent une coupe et le plan de l'appareil complet de concentration qui a été décrit par Clément.

A B manivelle de $0^m,40$ de longueur, à laquelle un homme fait faire un tour en une seconde; B C est un axe fixé à la manivelle et portant à l'extrémité C une roue dentée, engrenant dans un rouet D dont le nombre des fuseaux est deux fois plus grand que celui des dents de la roue, de sorte qu'il ne fait qu'un tour tandis que la roue en fait deux; le rouet D est fixé à un axe EF, qui porte par un pivot sur le palier E, et qui est maintenu verticalement en F par un collet en cuivre fort juste, mais le laissant cependant tourner librement; cet axe EF porte six à huit ailes de $1^m,50$ de longueur, sur $0^m,50$ de hauteur; leurs nervures sont en fer et recouvertes de toile cirée ou de planches de bois très-minces; ce moulin tourne entre deux plans circulaires parallèles, aussi rapprochés des ailes que possible et qui débordent un peu le bout des ailes; les plateaux sont maintenus par des traverses verticales clouées à leur circonférence. Le plateau inférieur est percé d'une ouverture centrale G H de $0^m,92$ de diamètre, ou de $0^m,65$ de surface. Un cylindre de même diamètre I K, et de 1 mètre de hauteur, s'y trouve fixé; il est soutenu de manière à ne pas s'appuyer sur l'appareil inférieur. L M est le couvercle de la caisse NOPQ; il est percé d'un trou correspondant au cylindre I K, et garni d'un cylindre semblable au cylindre supérieur qui peut le joindre exactement; on colle du papier sur les joints pour éviter le passage de l'air. La caisse NOPQ est un prisme rectangulaire de $2^m,5$ de côté, sur $1^m,75$ de hauteur; on y place des brins de bois blanc dépouillés de leur écorce et bien propres, par lits réguliers, se croisant alternativement, et laissant plus d'espace libre en bas qu'en haut; c'est sur ce tas que se disperse le jus que l'on veut concentrer; il entre par de petits trous ménagés dans le grand couvercle, de manière à le répartir aussi uniformément que possible sur les petits bâtons. On doit laisser

au-dessus des bâtons jusqu'au couvercle un espace libre de $0^m,31$ au moins de hauteur pour ne pas diminuer le passage de l'air; on doit aussi ne serrer les bâtons qu'autant qu'il le faut pour qu'une section horizontale présente au moins une surface libre de $1^m,9$; le fond de la caisse est formé d'une grille en bois, dont les barreaux sont très-écartés; au-dessous se trouve un grand vase en bois ou en cuivre mince, destiné à recevoir le sirop concentré.

Cet appareil est mal disposé; et on obtiendrait un bien plus grand effet en desséchant l'air par la chaux ou en le chauffant à une température comprise entre 50 et 100°, température qui, dans tous les cas, ne serait pas de nature à altérer les jus, d'autant plus qu'une grande partie de la chaleur de l'air serait employée à former de la vapeur et non à chauffer le liquide. On pourrait même sans inconvénient élever la température du liquide, et remplacer le travail mécanique par une cheminée d'appel dans laquelle le tirage serait produit par la chaleur qui n'aurait pas été utilisée dans le chauffage du liquide et de l'air. Nous reviendrons plus tard sur cet objet.

§ 3. — ÉVAPORATION A VASES OUVERTS PAR L'ACTION DIRECTE D'UN FOYER.

1153. On exécute toutes les évaporations à l'air libre par la chaleur, en plaçant la chaudière qui contient le liquide à évaporer sur un foyer, ou du moins en l'exposant à un courant d'air chaud.

1154. Lorsqu'un liquide est en contact avec l'air, l'évaporation se manifeste en général avant même que le liquide commence à s'échauffer, car nous savons que les liquides émettent des vapeurs à toutes les températures; mais cette évaporation est extrêmement faible. A mesure que le liquide s'échauffe, l'évaporation va en croissant, et une partie de la chaleur reçue par le liquide se perd par cette évaporation; par conséquent la température du liquide croît beaucoup plus lentement que si la chaudière était fermée; il peut même arriver que le liquide n'atteigne jamais la température de l'ébullition. En effet, si la surface du liquide exposée à l'air est très-grande relativement à la quantité de combustible brûlée, l'évaporation, qui est proportionnelle à la surface, pourra, à une certaine température du liquide, emporter une quantité de cha-

leur égale à celle que le liquide reçoit du foyer, et par conséquent sa température restera alors stationnaire.

Dans tous les cas, que le liquide atteigne ou n'atteigne pas la température de l'ébullition, on admet généralement que la quantité de chaleur nécessaire à l'évaporation est la même à une température quelconque qu'à celle de l'ébullition; mais il n'en est point ainsi, elle augmente rapidement à mesure que la température est moins élevée, parce qu'il y a de la chaleur perdue par l'échauffement de l'air et par le rayonnement du liquide.

La perte de chaleur due à la première cause peut facilement se calculer.

1155. Le tableau suivant renferme les tensions de l'air et de la vapeur dans l'air saturé sous la pression de $0^m,76$, à des températures comprises entre 20° et 90°; les poids de la vapeur et de l'air renfermés dans 1 mètre cube, ainsi que les quantités de chaleur contenues dans l'air et dans la vapeur.

TEMPÉRAT.	TENSION de la VAPEUR.	TENSION de L'AIR.	POIDS de la VAPEUR.	POIDS de L'AIR.	CHALEUR de la VAPEUR.	CHALEUR de L'AIR.	CHALEUR TOTALE.
	m.	m.	k.	k.	unités.	unités.	unités.
20	0,017	0,743	0,016	1,18	10	6	16
30	0,030	0,730	0,028	1,13	18	8,4	26,4
40	0,053	0,707	0,046	1,05	30	10,5	40,5
50	0,088	0,672	0,063	0,96	41	12	53
60	0,144	0,616	0,106	0,86	69	12,9	81,9
70	0,229	0,531	0,142	0,72	92	12,6	104,6
80	0,352	0,408	0,199	0,53	129	10,6	139,6
90	0,525	0,235	0,251	0,30	163	6,75	169,7

1156. Les nombres renfermés dans la dernière colonne représentent les quantités de chaleur absorbées par la vaporisation des quantités d'eau indiquées dans la quatrième colonne; on trouve alors facilement que la vaporisation de 1 kilog. d'eau absorberait les quantités de chaleur suivantes, en ayant égard à la chaleur absorbée par l'air.

	Unités.
A 20°	1000
30	942
40	880
50	841
60	772
70	736
80	701
90	676

1157. Cherchons maintenant à estimer la perte de chaleur par le rayonnement. Il résulte des expériences directes faites pour cet objet, que 1 mètre carré de surface d'eau à 40° évapore à très-peu près 1 kilog. d'eau pendant une heure dans un air calme. Alors, en admettant la loi observée par Dalton, savoir, que les quantités d'eau évaporées dans le même temps sont proportionnelles aux tensions de la vapeur, les quantités d'eau évaporées par heure et par mètre carré seraient

	k.
A 20°	0,32
30	0,57
40	1,00
50	1,70
60	2,71
70	4,32
80	6,64
90	10,00

1158. Il résulte aussi des expériences de Leslie, que le rayonnement de l'eau est égal au $\frac{10}{9}$ de celui du verre dans les mêmes circonstances. Mais, comme nous le verrons plus tard, quand une surface vitreuse se refroidit dans l'air, la quantité de chaleur perdue par le rayonnement est égale à celle qui est perdue par le contact de l'air, et la quantité totale de chaleur perdue par heure et par mètre carré est de 968 unités pour une différence de température de 85°; la perte due au rayonnement seul est donc dans les mêmes circonstances de 484 unités, et pour une différence de température de 10° de 57 unités; et comme le rayonnement de l'eau est les $\frac{10}{9}$ de celui du verre, le rayonnement de l'eau par mètre carré, par heure et pour une différence de température de 10°, sera de 63.

1159. Il résulte de là que la perte de chaleur par le rayonnement de l'eau pour l'évaporation de 1 kilog. d'eau à la température de 20°, l'air extérieur étant à 0°, sera $63.2.\frac{1}{0,32}=381$. Par des calculs analogues, on trouve pour les pertes de chaleur par le rayonnement, à différentes températures et pour chaque kilogramme d'eau vaporisé, les nombres suivants :

	Unités.
A 20°	381
30	331
40	252
50	185
60	139
70	102
80	75
90	56

1160. Alors, en réunissant les pertes par l'air et par le rayonnement, on trouve, pour les quantités de chaleur absorbées pour l'évaporation de 1 kilog. d'eau à différentes températures, les nombres suivants :

	Unités.
A 20°	1381
30	1273
40	1132
50	1026
60	911
70	838
80	776
90	732

1161. Pour vérifier ces résultats, j'ai suspendu à une balance très-sensible un vase cylindrique en fer blanc, de 0m,30 de diamètre, de 0,05 de profondeur, et placé dans un autre d'un plus grand diamètre et d'une plus grande section. J'ai rempli le vase intérieur d'eau chaude, l'intervalle des deux vases de coton cardé, afin de supprimer presque complétement le refroidissement latéral, et j'ai observé le refroidissement que le vase a éprouvé pour des pertes successives de 10 grammes. Les températures observées ont été les suivantes :

58°,25 ; 55°25 ; 52° ; 48°,5 ; 44°,75 ; 40°,75 ; 36°,25 ; 31°,25.

Ainsi, les abaissements de température correspondants à des diminutions successives de poids de 10 grammes, ont été de

3; 3,25; 3,50; 3,75; 4; 4,50; et 5°.

Le poids de l'eau renfermée dans le vase ayant été primitivement de 2413 grammes, on trouve, par un calcul fort simple, que les quantités de chaleur absorbées pour évaporer 1 kilog. d'eau, ont été

		Unités de chaleur.
De 58,25° à	55,25°	724
55,25	52°	780
52°	48,50	837
48,5	44,75	893
44,75	40,75	949
40,75	36,25	1063
36,25	31,25	1176

1162. Les dernières observations se rapprochent assez des résultats que nous avons calculés, mais les premières s'en éloignent beaucoup plus. La différence provient probablement de ce que pour les températures élevées, l'air est échauffé, en partie du moins, par la condensation des vapeurs qui passent à l'état vésiculaire.

1163. Mais quelle que soit la cause de cette différence, le calcul et l'expérience concourent à démontrer que l'évaporation dans des chaudières ouvertes coûte plus de combustible aux températures inférieures à celle de l'ébullition, et d'autant plus que la température est moins élevée.

1164. Le tableau suivant renferme les poids et les volumes d'air à 0°, et sous la pression ordinaire, nécessaires pour évaporer 1 kilogr. d'eau à différentes températures, ainsi que les quantités de chaleur absorbées par cet air.

	k.	m.c.	Unités.
A 20°	73,75	56,73	369
30	40,35	31,04	303
40	22,82	17,55	228
50	15,24	11,72	190
60	8,11	6,24	122
70	5,07	3,90	90
80	2,66	2,04	53
90	1,19	0,91	27

1165. *Disposition des appareils.* Les appareils dont on se sert pour évaporer des dissolutions dans des vases ouverts, sont disposés d'une manière analogue à ceux qu'on emploie pour la vaporisation. Le foyer est placé à une extrémité de la chaudière et au-dessous, et l'air brûlé circule sous le reste de la chaudière dans des carneaux qui l'obligent à en parcourir toute l'étendue. La quantité de combustible à brûler pour produire dans un temps donné un effet déterminé, doit se calculer en comptant que la vaporisation d'un kilogramme d'eau absorbe des quantités de chaleur correspondantes à celles qui sont indiquées dans le tabl. (1161). Mais ordinairement on emploie des surfaces de chauffe beaucoup plus grandes que pour la vaporisation, attendu que l'on peut refroidir beaucoup plus la fumée; mais il faut alors employer des cheminées d'une plus grande section, afin de vaincre le frottement qui résulte de l'allongement des carneaux. Ordinairement on place à la suite les unes des autres plusieurs chaudières dans lesquelles le liquide prend des températures décroissantes. Ces chaudières sont souvent disposées de manière à amener le liquide d'une chaudière dans celle qui la précède. Cette disposition suppose nécessairement qu'il n'y a aucun inconvénient à produire l'évaporation à des températures plus ou moins élevées. Mais si la limite extrême de température que le liquide doit atteindre était peu élevée, il faudrait nécessairement placer au-dessus du foyer une chaudière d'une grande dimension, dans laquelle un ou plusieurs agitateurs établiraient une parfaite égalité de température, et on parviendrait facilement, en réglant la consommation de combustible dans le foyer, à obtenir dans le liquide la température voulue.

1166. Il n'y a jamais économie de combustible à donner aux chaudières une grande profondeur; car si l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend uniquement, pour la même consommation de combustible, de l'étendue de la surface de la chaudière exposée à l'action directe du foyer ou à celle du courant d'air brûlé; et quand l'évaporation a lieu à une température inférieure à celle de l'ébullition, la quantité de vapeur produite dépend de la quantité de chaleur qui pénètre dans la chaudière et de la température de l'évaporation, température qui dépend elle-même de l'étendue de la surface libre du liquide. Ainsi, dans aucun cas, la masse du liquide n'a d'influence.

Dans le dernier cas, une grande profondeur dans les chaudières a l'avantage d'atténuer les différences de température qui proviennent des variations d'intensité du foyer; mais la permanence de température est rarement importante.

1167. Quand l'évaporation a lieu à la température de l'ébullition, l'étendue de la surface libre du liquide n'a, comme nous l'avons dit, aucune influence sur l'évaporation; il se forme autant de vapeur pour la même consommation de combustible quand la chaudière est complétement ouverte, que quand elle est fermée de manière à ne laisser qu'une petite ouverture pour le dégagement de la vapeur. Cependant si le couvercle était fixé sur la chaudière, l'ouverture de dégagement de la vapeur devrait avoir des dimensions suffisantes pour que la pression de la vapeur dépassât peu celle de l'atmosphère. Ainsi, lorsque le contact de l'air est nuisible au liquide soumis à l'évaporation, on peut fermer la chaudière de manière à ne laisser qu'une issue suffisante à la vapeur, afin de s'opposer au renouvellement de l'air.

On pourrait penser cependant que dans les chaudières complétement ouvertes, il doit y avoir une perte de chaleur due au rayonnement de la surface du liquide bouillant; mais cette perte doit être très-faible, car elle est sensiblement compensée par le rayonnement de la vapeur qui se trouve au-dessus de la surface et qui passe immédiatement à l'état vésiculaire. Dans les chaudières fermées il y a, au contraire, une perte de chaleur très-grande par le refroidissement de la partie supérieure de la chaudière; cette perte peut s'estimer à 2 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure; ainsi il sera toujours utile de recouvrir cette partie de la chaudière par des matières peu conductrices.

1168. La forme des chaudières, l'étendue de leur surface, et la nature du métal, dépendent nécessairement de la nature du liquide qui doit être évaporé; ainsi il est impossible de rien dire de général à cet égard. Mais il sera toujours facile, d'après ce qui précède, et en se rappelant les détails que nous avons donnés dans le chapitre consacré à la vaporisation, de calculer dans chaque cas particulier les dimensions des chaudières, et les dispositions les plus avantageuses.

Nous entrerons cependant dans l'examen de quelques appareils et principalement de ceux qui sont le plus fréquemment employés.

1169. Dans les salines on emploie des chaudières de très-grandes di-

mensions qui sont chauffées seulement à la partie inférieure. A Dieuze il y a quatre chaudières rectangulaires et de mêmes dimensions, formées de plaques de fer de $0^m,004$ d'épaisseur, garnies de rebords en dessous, qui sont serrés les uns contre les autres par des pinces à écrous; les joints sont remplis par du ciment de fonte; les plaques ont $0^m,50$ de côté. Ces chaudières ont 25 mètres de longueur sur 5 mètres de largeur; elles sont élevées de $1^m,35$ et soutenues par des piliers en fonte; la fumée s'étend librement sous les chaudières sans rencontrer aucun obstacle; les chaudières sont recouvertes d'une vaste hotte en planches qui conduit les vapeurs dans une cheminée aussi en planches. La grille a $1^m,40$ de longueur sur $0^m,80$ de largeur; de la porte à la naissance de la grille la distance est de $2^m,40$. Chaque foyer brûle 2500 kilogr. de houille par 48 heures. La cheminée commune à ces quatre chaudières a 18 mètres de hauteur, 1 mètre de côté à la base, et $0^m,60$ au sommet. La température de la fumée, à son entrée dans la cheminée, est de 100°; l'effet utile est de 7^k50 d'eau évaporée par kilogramme de houille.

Une autre chaudière de 16 mètres de longueur sur 7 de largeur fonctionne de la même manière que les quatre dont nous venons de parler, et donne les mêmes résultats; une autre de $27^m,5$ de longueur sur 7 mèt. de largeur produit un moindre effet utile.

Les résultats qu'on obtient en opérant à la température de l'ébullition ou à une température inférieure sont très-différents. A l'ébullition on emploie 36 à 38 kilogr. de houille pour obtenir 100 kilogr. de sel; à une température inférieure il en faut de 42 à 44. La différence provient de la chaleur absorbée par l'air et du rayonnement de la surface liquide.

La consommation de houille par heure est, d'après ce qui précède, de $2500 : 48 = 52^k$. La surface de la grille étant de $1^m,12$, chaque décimètre carré brûle par heure $0^k,46$. La surface de chauffe étant de $5.25 = 125^m$, chaque mètre carré correspond à $2^k,4$ de houille.

La surface de grille est à peu près deux fois plus grande que celle qu'on emploie ordinairement. L'étendue de la surface de chauffe est à peu près double de celle des chaudières à vapeur. Quant à la section minimum de la cheminée, elle est plus grande que celle qui résulte des formules que nous avons données (406), car en négligeant les résistances qui se produisent dans les carneaux, et qui sont extrêmement faibles, à cause

de la grandeur de la section, 5 mètres sur $1^m,30$, on trouve pour le côté de la cheminée $0^m,35$.

Malgré la grande étendue des chaudières, la température n'est pas très-différente au-dessus du foyer et à l'autre extrémité de la chaudière, car, dans le premier point, quand on ne porte pas le liquide à l'ébullition, elle est de 80°, et de 50 à 60 à l'arrière.

Au premier abord on est étonné du grand effet utile obtenu dans les appareils que nous venons de décrire, car il semble que l'air brûlé doive tendre à gagner la cheminée par le plus court chemin, et par conséquent qu'une grande partie de la surface de chauffe soit perdue; mais il n'en est pas ainsi : le refroidissement de l'air qui se trouve sur les parois latérales et la tendance de l'air chaud à s'élever, obligent ce dernier à s'épanouir au-dessous de la chaudière et à la partie supérieure de l'immense canal qui règne sous la chaudière, et l'air appelé dans la cheminée forme un grand courant qui rase la surface inférieure de ce canal; ce mouvement est encore rendu plus net par la position de l'orifice du canal qui conduit l'air brûlé à la cheminée : cet orifice est de beaucoup au-dessous du fond de la chaudière.

Un fait qui paraît non moins extraordinaire, c'est qu'en établissant au-dessous de la chaudière de nombreux carneaux par des petites murailles qui forçaient l'air brûlé à raser successivement toutes les parties de la chaudière, l'effet utile a été diminué. On ne peut se rendre compte de ce fait qu'en admettant, ce qui est très-probable, que dans un canal étroit les couches refroidies à la partie supérieure, descendent en traversant les couches d'air centrales plus chaudes, et établissent dans tous les points d'une même section une uniformité de température qui abaisse celle des couches qui se trouvent à la partie supérieure, de beaucoup au-dessous de la température qu'elles auraient si les mouvements avaient lieu par une circulation continue, comme cela paraît s'établir au-dessous des grandes chaudières dont nous avons parlé.

1170. Les figures 5, 6, 7 (pl. 48) représentent trois coupes d'une chaudière d'évaporation, destinée à évaporer 150 kilogrammes d'eau par heure; l'air chaud, en sortant du foyer, s'étend sous la chaudière, et revient à la cheminée simultanément des deux côtés en parcourant les faces latérales.

1171. Les figures 1 et 2 (pl. 49) représentent la disposition des chau-

dières ordinairement employées pour la concentration de l'acide sulfurique. La chaudière de plomb repose sur des barres de fer jointives qui reçoivent d'abord l'action de la chaleur; dans cette disposition il y a beaucoup de chicanes qui nuisent singulièrement au tirage. La disposition représentée par les figures 3 et 4 est bien préférable; la température est plus uniforme, et l'effet utile est plus considérable. Dans ces sortes de chaudières, on donne souvent aux grilles de très-grandes surfaces, afin d'avoir des feux languissants qui ne puissent pas brûler ou plutôt fondre les chaudières.

1172. Les figures 5 et 6 représentent une chaudière d'évaporation conique. Cette forme de chaudière est nécessaire dans quelques circonstances; par exemple, quand le liquide, en se concentrant, forme des dépôts. On les recueille dans un vase métallique percé de petits trous et suspendu par une chaîne près du fond de la chaudière. Le mouvement étant beaucoup plus faible dans le vase qu'autour, les dépôts s'y rassemblent. Cette forme de chaudière est employée dans les raffineries de salpêtre.

1173. Si les matières qui se déposent formaient des masses considérables, cette disposition ne suffirait pas, les matières qui se précipiteraient au fond de la chaudière recevant l'action directe du foyer, pourraient la faire brûler. Dans ce cas il serait avantageux d'employer la disposition indiquée dans les figures 7 et 8 (pl. 49). La chaudière a la forme d'une trémie, terminée par une partie rectangulaire. Les parois seules de la trémie sont chauffées, et les matières insolubles se précipitent dans la partie inférieure de la chaudière, d'où elles peuvent être retirées ou par un panier en toile métallique, ayant les dimensions de cette partie de la chaudière, et suspendu à des poulies, ou de toute autre manière. Les flèches indiquent la direction du mouvement de l'air chaud.

1174. Les figures 9, 10 et 11 (pl. 49) représentent une autre disposition de chaudières destinées à évaporer des liquides qui, par les dépôts qu'ils produisent, peuvent faire brûler le fond des chaudières.

La figure 9 est une coupe verticale perpendiculaire à la direction du foyer, faite suivant la ligne CD, fig. 11. La figure 10 est une élévation, et la figure 11 une coupe horizontale suivant AB, fig. 9. Le fond de la chaudière est ondulé, et la partie supérieure seule des ondulations est chauffée; les carneaux sont en partie remplis de briques, afin que leur section n'ait que l'étendue suffisante, et que la fumée s'épanouisse sur toute la

surface de chauffe que renferment les carneaux. Cette chaudière peut vaporiser 150 à 180 kil. d'eau par heure.

1175. Lorsque l'évaporation doit avoir lieu à une température élevée, comme celle des dissolutions de carbonate de soude, on emploie une série de chaudières placées les unes au-dessus des autres (fig. 1 et 2, pl. 50). La première, qui est placée au-dessus du foyer à nu ou sur une voûte en briques, est destinée à produire ou à terminer l'évaporation; les autres à commencer l'évaporation, ou du moins à échauffer le liquide. Chaque chaudière doit alimenter la suivante; et pour cela elle est munie d'un robinet, ou, ce qui vaut mieux, d'un siphon toujours amorcé, qui fonctionne quand on le descend et qui cesse de faire écouler le liquide lorsqu'on le relève. La disposition la plus simple de ces siphons est représentée dans la figure 1; il est évident que le tube *abcde* étant plein de liquide, et les extrémités *a* et *e* étant à la même hauteur, il restera plein; mais si on fait plonger une des branches dans un des vases, la colonne se trouvant raccourcie, le liquide s'écoulera par l'autre branche.

1176. Les figures 3, 4, 5 et 6 (pl. 50) représentent une chaudière d'évaporation construite par Lemare, et sur laquelle ont été faites les expériences rapportées (229). Cette chaudière est formée de trois enveloppes concentriques; c'est entre la seconde et la dernière que se trouvent les carneaux. Dans les expériences faites sur cette chaudière, on a brûlé à peu près 20 kilogr. de houille à l'heure, et on a obtenu plus de 9 kilogr. de vapeur par kilogramme de houille. La surface de chauffe correspond à peu près à 3 kilogr. de houille à l'heure; la fumée était à peu près à 200°. La tôle de ces chaudières avait $4^{mm},5$ d'épaisseur.

Ces chaudières seraient très-convenables pour évaporer des dissolutions qui produisent des dépôts très-volumineux; mais elles coûteraient trop d'établissement, à cause des trois enveloppes. On arriverait certainement aux mêmes résultats au moyen de la disposition beaucoup plus simple représentée dans les figures 7, 8 et 9, et mieux en employant la disposition des figures 10 et 11, dans laquelle la chaudière est environnée d'une maçonnerie assez épaisse pour éviter la perte de chaleur due au rayonnement de la chaudière et au contact de l'air.

1177. Dans ce qui précède nous avons principalement considéré l'évaporation sous le rapport de l'économie du combustible; mais il est des circonstances dans lesquelles le temps est un élément beaucoup plus im-

portant, et où il est avantageux de sacrifier du combustible pour accélérer l'évaporation. Telle est, par exemple, la concentration des sirops, parce que le sucre est d'autant plus altéré qu'il reste plus longtemps soumis à l'action de la chaleur.

1178. *Chaudières à bascule.* Les appareils qu'on a employés longtemps pour la concentration des sirops, consistaient uniquement dans des chaudières, peu profondes, dans lesquelles on plaçait le sirop, et que l'on chauffait directement par un foyer très-actif, dont la fumée ne circulait pas autour de la chaudière : cette disposition, très-vicieuse sous le rapport de l'économie du combustible, l'était encore davantage par l'altération que le sirop éprouvait souvent; car l'évaporation étant très-rapide, si le vase restait sur le feu après que le sirop avait atteint le degré convenable de concentration, ce dernier s'altérait, et l'on obtenait moins de sucre blanc et plus de mélasse.

On a complétement évité cet inconvénient, au moyen des chaudières à bascule, que l'on peut soulever et vider à l'instant précis où la concentration est arrivée à son terme. Cet appareil est composé (fig. 12 et 13, p. 50) d'une chaudière plate A, garnie d'un large goulot un peu relevé, qui déborde le fourneau, et au-dessous duquel se trouve un grand vase de cuivre C nommé rafraîchissoir, où le sirop cuit est recueilli et commence à grener; au-dessus de la chaudière se trouve un réservoir D renfermant du sirop destiné à alimenter la chaudière de cuite; une chaîne E, fixée à la chaudière et qui passe sur deux poulies fixes, permet de faire basculer la chaudière, et de la vider dans le rafraîchissoir; le réservoir alimentaire est terminé par un tuyau fermé en dedans par une soupape *m* que l'on peut ouvrir de même au moyen d'une chaîne. La grille du foyer a une très-grande surface relativement au fond de la chaudière, et la fumée se dégage par des orifices nombreux *o*, *o*, *o*.... placés latéralement, et qui débouchent dans un carneau circulaire G qui communique avec deux cheminées. Lorsque le sirop est arrivé au point convenable, un ouvrier fait basculer la chaudière au moyen de la chaîne E, la chaudière se vide très-promptement dans le rafraîchissoir, et pendant tout le temps de cette opération elle est soustraite à l'action du foyer. Aussitôt que le sirop cuit est écoulé, on ouvre la soupape du réservoir, et la chaudière remise en place se trouve presque aussitôt remplie. Dans ce mode d'opération, on peut mettre à la fois

peu de sirop dans les chaudières, et multiplier les cuites, ce qui est très-avantageux ; car le contact prolongé de la chaleur et de l'air nuit beaucoup à la qualité du sirop. On conçoit facilement, qu'en multipliant les cuites, leur durée diminue, et par conséquent, que chaque portion de sirop reste moins longtemps en contact avec la chaleur et avec l'air.

Mais ce mode d'opération exige une dépense énorme de combustible, car le foyer a une très-grande étendue, et l'air chaud arrive dans la cheminée à une température extrêmement élevée. On emploie maintenant de préférence les différents appareils à vapeur dont nous parlerons plus tard, qui sont plus avantageux que les chaudières à bascule, sous le rapport de la conservation du sucre, et qui utilisent beaucoup mieux le combustible.

1179. *Appareils destinés à évacuer les vapeurs.* Dans les usines où l'évaporation se fait sur de grandes dimensions, l'énorme quantité de vapeur d'eau qui se répand dans les ateliers, et qui s'y condense en partie, est souvent très-incommode, et en saturant l'air empêche l'évaporation à une température inférieure à celle de l'ébullition. On a imaginé, pour s'en débarrasser, une disposition très-simple, représentée par la figure 14 (pl. 50) : la chaudière est recouverte du dôme MN ordinairement en planches, ouvert en avant et terminé à l'extrémité de la chaudière par un tuyau vertical qui pénètre dans la cheminée à une certaine hauteur ; le courant d'air que détermine au-dessus des chaudières la force ascensionnelle de la fumée entraîne les vapeurs, qui, par conséquent, ne peuvent pas se répandre dans l'atelier. Quelquefois on se borne à environner la chaudière d'une espèce de hotte analogue à celle des foyers de cuisine, ouverte par les trois côtés, et communiquant de même avec la cheminée. Mais cette disposition est moins bonne que la précédente, parce qu'il y a trop d'air appelé, et qu'une partie des vapeurs peut encore se répandre dans l'atelier.

1180. Connaissant la quantité de combustible qui doit être brûlée dans une heure, ainsi que la température du liquide, on pourra déterminer avec une approximation suffisante, la section que doit avoir la cheminée, pour suffire au tirage du foyer et à l'évacuation du mélange d'air et de vapeurs. Pour cela on commencera par déterminer la température du mélange des gaz dans la cheminée ; on considérera ensuite la section de la cheminée comme composée de deux parties correspon-

dantes aux deux appels, et on déterminera chacune d'elles séparément par les méthodes connues.

Supposons que la consommation de combustible soit de 40 kilogr. de houille par heure, que la température du liquide soit de 40°, et que l'air brûlé soit abandonné à 200°. Le poids d'air brûlé qui pénétrera par seconde dans la cheminée sera $18 \times 40 \times 1^k,3 : 3600 = 0^k,26$. La quantité de houille brûlée par seconde étant de $40 : 3600 = 0^k,011$, et son effet utile (428) étant de 0,83, la quantité de vapeur produite par seconde sera (1161) de $7500 \times 0,011 \times 0,83 : 1063 = 0^k,064$, et le poids d'air qui entraînera la vapeur sera (1164) de $0,064 \times 22,82 = 1^k,45$. Alors la température moyenne du mélange sera sensiblement $(0,26 \times 200 + 1,45 \times 40) : (0,26 + 1,45) = 64°$. En supposant que la cheminée commune ait 20 mètres de hauteur, et que la température extérieure soit 14°, on aura $0^m,12$ pour la section de la cheminée nécessaire au tirage du foyer (406). En faisant $R = 0$ dans l'équation (1) (403), on trouve que la section de la cheminée, suffisante pour l'écoulement de l'air saturé de vapeur, est de $0^m,26$; ainsi la section totale sera de $0^m,38$, et par conséquent le côté de la cheminée supposée carrée, sera de $0^m,61$.

1181. Il serait convenable de donner à la cheminée une plus grande section, parce que l'air appelé peut ne pas être complétement saturé; mais alors il faudrait garnir d'un registre les orifices par lesquels l'air brûlé et le mélange d'air et de vapeur débouchent dans la cheminée, afin de pouvoir régler à la fois et la consommation de combustible et la température du liquide.

1182. On pourrait aussi faire évacuer l'air brûlé par une cheminée en fonte placée au centre de la cheminée d'appel; mais pour que l'air environnant fût facilement échauffé par l'air brûlé, il faudrait garnir le tuyau de nombreux appendices horizontaux destinés à porter la chaleur de l'air brûlé dans un grand nombre de points de la veine d'air appelé.

1183. Enfin, on pourrait se borner à faire évacuer l'air mêlé de vapeur par une cheminée spéciale d'une grande section; le tirage pourrait être suffisant, si le mélange ne se refroidissait pas assez dans la cheminée pour condenser une partie des vapeurs; mais s'il n'en était pas ainsi, les vapeurs condensées, suspendues dans l'air, pourraient donner au mélange, malgré son élévation de température, une densité plus grande que celle de l'air environnant.

1184. Il est évident que si l'évaporation avait lieu à la température de l'ébullition, la chaudière étant fermée, un simple tuyau communiquant avec la chaudière et s'ouvrant à l'extérieur, quelle que fût d'ailleurs sa direction, suffirait à l'évacuation des vapeurs.

1185. On pourrait aussi produire un courant d'air d'une autre manière sans nuire au tirage du foyer. Ce procédé consiste à alimenter le foyer par l'air qui s'est chargé de vapeur d'eau en passant sur la chaudière (fig. 15, pl. 50). La chaudière est garnie d'un couvercle un peu élevé AB, ouvert en C, par lequel l'air extérieur s'introduit sur le liquide; l'air descend ensuite par le canal DE, pénètre dans le cendrier F, et passe de là dans le foyer, sous la chaudière et dans la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de faire traverser le foyer par un volume d'air beaucoup plus considérable que celui qui est nécessaire pour la combustion; en effet, nous avons vu (257) que pour brûler 1 kilogr. de houille il faut au plus 18 mètres cubes d'air froid; or, en admettant que chaque kilogr. de houille évapore 6 kilogr. d'eau, et que l'évaporation ait lieu à 50°, comme à cette température il faut $11^{m},72$ (1164) d'air à 0° pour enlever la vapeur de 1 kilogr. d'eau, l'air appelé dans le foyer réduit à 0° serait de $6 \times 11,72 = 70^{m.c.},32$. L'air en excès serait encore beaucoup plus grand si l'évaporation avait lieu à une plus basse température. Il est facile de voir, d'après le tableau (1164), qu'il faudrait que l'évaporation eût lieu entre 70° et 80° pour que le volume d'air suffisant pour l'évaporation ne dépassât pas celui qui est nécessaire à la combustion. Dans tous les cas, la grande quantité de vapeurs que renfermerait l'air serait une circonstance très-défavorable, et qui occasionnerait une grande perte d'effet utile.

1186. On pourrait encore employer un procédé différent qu'il est utile d'examiner, c'est celui qui consiste à faire passer sur le liquide dont on a augmenté la surface autant que possible, l'air qui a servi à la combustion; cet appareil est représenté figure 16 (pl. 50). A est le foyer, B le canal qui conduit l'air chaud sous la chaudière, B′ deux canaux qui le ramènent en avant, C le prolongement du même canal qui passe au-dessus du liquide, D la cheminée.

Cet appareil n'a qu'un seul des inconvénients de celui que nous avons examiné précédemment, c'est d'exiger une quantité d'air plus grande que celle qui est nécessaire pour la combustion, du moins quand l'éva-

poration a lieu à une température inférieure à 70°; cet inconvénient serait assez faible, parce que la chaleur serait employée d'une manière plus utile que dans les évaporations ordinaires, attendu que l'air chaud, en arrivant dans la cheminée, aurait une température seulement égale à celle du liquide. Mais cet appareil ne pourrait être employé que dans des circonstances extrêmement limitées, car la fumée renfermant toujours des matières combustibles plus ou moins décomposées, et du charbon très-divisé, il faudrait que le liquide à évaporer fût de nature à ne pas être altéré par ces substances, ou que l'on employât comme combustible du coke ou du charbon de bois; et, dans ce cas, il faudrait encore que le liquide n'éprouvât aucune action de la part de l'acide carbonique.

Au premier abord ce procédé de vaporisation semblerait avantageux pour évaporer à une température inférieure à celle de l'ébullition les dissolutions de substances qui sont facilement altérées par l'oxygène de l'air, parce que l'on pourrait s'arranger de manière qu'il ne s'échappât du foyer que peu d'oxygène. Mais alors la quantité d'air qui arriverait sur le liquide ne serait pas suffisante pour dissoudre toutes les vapeurs qui pourraient se former, et la température du liquide augmenterait.

§ 4. — ÉVAPORATION D'UN LIQUIDE CHAUD PAR UN COURANT D'AIR FORCÉ FROID OU CHAUD.

1187. Dans les appareils que nous venons d'examiner, on peut considérer l'évaporation comme produite par des courants d'air forcés, froids dans les deux premiers, chauds dans le dernier; mais comme, dans ces dispositions, les courants ont une grande épaisseur, on ne doit les regarder, ainsi que nous l'avons fait, que comme des dispositions propres à évacuer les vapeurs. Pour que les courants d'air satisfassent à la condition de produire réellement l'évaporation, il faut qu'ils soient en lames assez minces, pour qu'on puisse admettre qu'ils soient saturés après leur contact avec les liquides.

1188. Dans le mode d'évaporation dont il est question, on peut employer deux méthodes différentes; on peut faire passer l'air en lames

minces sur le liquide, ou faire passer l'air en très-petites bulles à travers le liquide, et dans l'un et l'autre cas on peut chauffer le liquide ou l'air, ou tous les deux.

1189. La disposition la plus simple pour évaporer un liquide chaud par un courant d'air forcé froid, est représentée dans les figures 17 et 18 (pl. 50). A est une chaudière rectangulaire fermée à la partie supérieure et latéralement par des planches ou des plaques métalliques; l'espace compris entre le niveau du liquide et la plaque supérieure est ouvert en avant et communique par l'extrémité opposée avec une large cheminée; le foyer chauffe directement la partie inférieure de la chaudière par rayonnement, et les parois latérales par le courant de fumée qui se rend ensuite par un tuyau de tôle dans la cheminée d'appel. Entre le niveau du liquide et la paroi supérieure de l'encaissement, se trouvent deux systèmes de toiles parallèles, métalliques ou de chanvre, tendues, et très-voisines les unes des autres; ces deux systèmes de toiles sont fixés aux deux extrémités d'un balancier extérieur, de manière que, quand un des systèmes est au-dessus du niveau, l'autre plonge dans le liquide. Par cette disposition, l'air est obligé de passer entre des lames mouillées très-rapprochées, et dont on renouvelle le liquide aussi souvent que cela est nécessaire.

1190. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 51), représentent une disposition analogue. La figure 1 est une coupe verticale de l'appareil dans le sens de la longueur, et les figures 2 et 3 sont des coupes suivant les plans XY et ZT. Mais les nappes mouillées sont placées autour d'un axe qui est animé d'un mouvement de rotation continu; le mouvement de l'air est produit par un ventilateur, et la chaleur de la fumée, en sortant du foyer, est employée à chauffer l'air poussé par le ventilateur. A est le foyer; B, un carneau à l'extrémité duquel la fumée se divise pour chauffer simultanément les deux faces de la chaudière; C, le carneau où se rendent les deux courants de fumée; D, caisse renfermant un grand nombre de tubes horizontaux, à travers lesquels s'échappe l'air lancé par le ventilateur E; la fumée circule autour des tuyaux pour se rendre dans la cheminée F; G, chaudière dans laquelle plongent des toiles fixées autour de l'axe métallique H, de manière à former plusieurs surfaces prismatiques concentriques; I, cheminée d'écoulement de l'air chargé de vapeurs. Le ventilateur et la poulie K sont mis en mouvement par un moteur quelconque.

On pourrait aussi placer sur l'axe de rotation, et perpendiculairement à sa direction, des toiles métalliques circulaires à mailles très-larges, que le mouvement imprégnerait sans cesse de nouveau liquide, et que le courant d'air serait obligé de traverser.

1191. Au moyen de ces appareils, on peut évaporer rapidement un liquide par un courant d'air à une température donnée, en chauffant seulement le liquide ou l'air, ou tous les deux. Ces dispositions seraient bien préférables à celle dont nous avons parlé (1152). Elles seraient surtout applicables à la concentration des sucs qui ne peuvent pas, sans altération, ou au moins sans perdre de leur arome, supporter une température élevée.

1192. La figure 4 (pl. 51) représente une autre disposition d'un appareil d'évaporation à courant d'air forcé. A est un vase cylindrique vertical fermé par les deux bouts, dans lequel on peut introduire de la vapeur par le tuyau *a*; *b* est un tube pour l'évacuation de l'air, et *c* le tuyau de retour d'eau; le vase est recouvert extérieurement de toiles métalliques. Le liquide à évaporer est amené d'une manière continue par le tube *d*; il tombe dans un vase *e* percé de très-petits trous, dans lequel restent les matières que le liquide pouvait tenir en suspension; de là il tombe dans le vase *f* percé de trous à sa circonférence, qui le distribue uniformément sur la toile métallique; le liquide concentré se réunit dans la rigole annulaire *g*, d'où il s'écoule par le tube *h*. Le cylindre A est environné du cylindre B d'un plus grand diamètre et beaucoup plus haut, qui reçoit par le bas un courant d'air forcé. La gouttière annulaire K reçoit l'eau qui se condense contre la surface intérieure du cylindre enveloppant. Cette disposition, qui avait été imaginée pour la concentration des sirops, n'a point été employée; elle a plusieurs graves inconvénients, et notamment celui de ne pas permettre de nettoyer facilement la toile métallique; elle est bien inférieure sous tous les rapports aux deux appareils dont nous venons de parler.

Si le liquide n'était pas de nature à être altéré par les produits de la combustion, on pourrait employer la fumée pour produire l'évaporation après l'avoir mêlée avec une quantité d'air froid suffisante pour abaisser sa température au point convenable.

1193. Quand le courant d'air est froid, ce mode d'évaporation produit le même effet utile qu'une évaporation lente à la même température. Mais

quand il est chaud il n'en est plus ainsi, parce que la chaleur qu'il conserve ne provient pas de la condensation partielle des vapeurs, celle qu'il entraîne étant complétement en dissolution. Dans les deux cas il y a cependant peu de différence entre l'effet utile du combustible, et d'autant moins que l'évaporation a lieu à une température plus élevée. Dans le chapitre suivant, la question de l'effet produit sera examinée avec tous les détails nécessaires.

1194. *Appareils de concentration par l'air chaud introduit dans le liquide.* Ce mode d'évaporation a été imaginé, en 1812, par Parmentier, et se trouve décrit dans un ouvrage intitulé : *Nouvel aperçu des résultats obtenus de la fabrication des sirops et conserves de raisins dans le cours de l'année* 1812. Cet appareil consistait en un soufflet de forge, dont la tuyère communiquait avec un vase lenticulaire percé d'un grand nombre de petits trous et plongé dans le liquide à évaporer. Depuis, plusieurs personnes ont pris des brevets d'invention pour le même objet; le brevet le plus récent et qui est déchu, a été pris par M. Brame-Chevalier. L'appareil est représenté fig. 5 (pl. 51). A est un générateur à vapeur renfermant un serpentin B communiquant par une extrémité avec un soufflet C, et de l'autre avec l'espace qui se trouve au-dessous d'un plateau horizontal percé d'un grand nombre de petits trous et placé dans la chaudière de concentration D, à une petite distance de son fond. Le générateur fournit de la vapeur à une grille E plongée dans le sirop, et qui est destinée à en élever la température. Voici le résultat d'une expérience rapportée par M. Brame-Chevalier. La chaudière de cuite ayant été chargée de 50 kilog. de sirop clarifié à 36° du pèse-sirop, la pression de la vapeur étant de 1 atm. $\frac{1}{2}$, l'opération, par l'action seule de la vapeur, a été terminée en 56′; la température du sirop était de 85° au commencement, et de 93° à la fin. Dans une autre expérience, dans laquelle on a fait passer de l'air à travers le sirop, l'opération a été terminée en 28′, et la température du sirop a varié de 70° à 72°.

1195. Depuis, M. Brame-Chevalier a monté sur une grande échelle des appareils destinés aux raffineries de sucre et aux fabriques de sucre de betterave. Ces appareils se composent d'une machine soufflante destinée à comprimer l'air, d'un appareil pour le chauffer, et des chaudières de cuite, dont le sirop est chauffé à la vapeur, et à travers lequel l'air chaud est injecté.

La machine soufflante est à cylindre; elle est mise en mouvement par une machine à vapeur. L'appareil destiné à chauffer l'air se compose, fig. 6 (pl. 51), d'un faisceau de tubes *e* ouverts par les deux bouts; très-près de leurs extrémités, ces tubes traversent des plaques E dans lesquelles ils sont soudés; à la partie supérieure du faisceau, un peu au-dessous de la plaque supérieure dont nous venons de parler, se trouve un diaphragme *é* percé d'un grand nombre de petits trous et destiné seulement à gêner le mouvement de l'air pour le forcer à se mettre mieux en contact avec les tubes du faisceau qu'il environne de toutes parts; une enveloppe cylindrique F, exactement fixée sur le contour des deux plaques E, vient clore hermétiquement l'espace qui reste libre entre les tubes à vapeur *e*; c'est dans cet espace que les deux grands tubes à air D jettent l'air lancé par la machine soufflante. Le reste de l'appareil consiste en une calotte F′ et un double fond inférieur F″ fixés en même temps aux extrémités du cylindre F et aux plaques E. Les espaces réservés aux deux extrémités des tubes sont destinés, l'un à fournir de la vapeur aux tubes, l'autre à recevoir l'eau de condensation. L'air, convenablement échauffé, sort par deux tubes G qui se réunissent en un seul G′ (fig. 8), et ensuite par le tube G″ qui est aussi horizontal, mais perpendiculaire à G′; à chacune de ses extrémités, le tube G″ se courbe de haut en bas (fig. 7), et se termine par une boîte *g″* destinée à recevoir les deux tubes coudés H qui doivent être mobiles dans cette boîte, de manière à y prendre au besoin un mouvement de rotation autour du boulon *gg*, qui les tient serrés pour qu'il n'y ait pas de fuites d'air; les tubes H sont pareillement coudés à leur partie inférieure pour s'adapter dans une seconde boîte *h*, semblable à la première, dans laquelle ils peuvent aussi tourner; ici l'écartement des tubes H est empêché par la pince *h′h′*; la boîte *h* porte un robinet H′ (fig. 6) qui arrête l'air quand il est fermé, et qui lui permet de passer dans le grand tube H″ quand il est ouvert; une fois arrivé dans le tube H″, l'air descend par les trois colonnes I pour se répandre dans l'espace compris entre les deux fonds L et L′, d'où il ne peut plus s'échapper que par la multitude de petits trous dont le fond supérieur est percé.

1196. Toutes les chaudières de cuite sont disposées de la même manière. La figure 6 en présente une coupe verticale, et la figure 8 la projection horizontale. Une chaudière se compose du fond inférieur

L′, du fond supérieur L percé d'un grand nombre de petits trous, et du robinet de vidange J qui se manœuvre au moyen de la clef *j*.

Les chaudières sont disposées de manière à pouvoir être inclinées du côté du tube de vidange (fig. 6), quand la cuite est terminée. Pour cela, chaque chaudière est supportée par un bâtis à 4 pieds M, liés entre eux par des traverses diagonales dans le sens de la longueur de la chaudière, et par des traverses horizontales dans le sens de sa largeur; les deux pieds qui sont opposés au robinet de vidange se bifurquent vers le haut et donnent naissance à des appendices M′, sur lesquels reposent les deux extrémités arrondies d'un axe *m′* solidement boulonné sur le bord correspondant de la chaudière; cet axe porte seul le bout dont il s'agit; l'autre bout, celui du robinet de vidange, est supporté par une traverse semblable *n′*, par deux tiges N′ et par le levier N, mobile autour de l'axe *n*; chacune des tiges N′ est articulée à l'une des extrémités de la traverse *n′* et à l'extrémité du levier N; l'axe *n* de rotation du levier N est fixé sur les pieds correspondants du bâtis; le poids de la chaudière et du sirop tend à faire descendre le petit bras du levier N et à relever le grand bras du même levier; mais une traverse qui s'ajuste dans la rainure *m* des pieds du bâtis, arrête le mouvement et permet, par la même raison, de niveler exactement le fond L de la chaudière. Quand la cuite est terminée, on soulève cette traverse; le levier N la suit, et la chaudière s'incline du côté du robinet de vidange, que l'on ouvre en même temps pour donner issue au liquide. Ce mouvement fait comprendre les motifs de l'ajustement des tuyaux H dans les boîtes *g″* et *h*, car il est évident que les colonnes I, boulonnées sur le fond L, se déplacent avec lui et entraînent par conséquent le tube H″, qui ne peut suivre ce mouvement qu'en déplaçant les tuyaux H et en les faisant tourner à la fois dans la boîte *h*, et dans la boîte *g″*; on voit aussi que le centre de rotation étant en *m′*, il importe que les verticales des tuyaux H ne tombent pas à une grande distance de la ligne *m′*, car alors l'extrémité du tuyau H″ s'abaisserait sensiblement, et il faudrait que les tuyaux H pussent non-seulement tourner, mais s'allonger.

La vapeur arrive dans l'appareil destiné à chauffer l'air par le tube *p* garni du robinet P. *p′* est le tuyau d'écoulement de l'eau de condensation. La vapeur non condensée se dégage par *p″*.

La vapeur destinée au chauffage du sirop arrive de la chaudière par

le tuyau Q (fig. 6); ce tube se recourbe en Q′ et communique avec un long tuyau horizontal Q″ (fig. 6 et 8) qui lui est perpendiculaire et qui s'étend à droite et à gauche jusque vers le milieu de chaque chaudière, où il se recourbe de haut en bas. A chacune des extrémités du tube Q″ naissent deux embranchements R, s'étendant d'abord horizontalement, puis descendant verticalement; ils se recourbent en R′, où se trouve un robinet, et viennent enfin dans la direction R″ pour s'ouvrir dans les boîtes S qui se trouvent sur chacun des côtés des chaudières; des boîtes S, la vapeur passe dans les tubes *t* de la grille, arrive aux boîtes S′, d'où elle gagne les tubes *r*″, *r*′ et *r*, pour s'échapper avec l'eau condensée.

Comme les grilles à vapeur ne pourraient participer au mouvement de bascule de la chaudière sans une assez grande complication d'ajustements, on a préféré les laisser complétement fixes et immobiles : elles sont soutenues à 6 ou 8 centimètres du fond L par des tiges *t*′ (fig. 6), qui sont elles-mêmes attachées aux deux traverses TT; les extrémités de ces traverses reposent sur les sommets des pieds M du bâtis. On peut donc, sans faire éprouver à la grille le moindre dérangement, manœuvrer la chaudière au moyen du levier N, et la faire tourner autour de son axe *m*′ jusqu'à ce que le fond L vienne rencontrer le fond des boîtes S.

Les tuyaux à vapeur sont courbes, afin que l'inégale dilatation qu'ils peuvent éprouver, en se portant sur leur courbure, n'altère pas la solidité des joints avec les boîtes S et S′. Dans la disposition de l'appareil, on s'est réservé la possibilité de faire passer au besoin un jet de vapeur entre les deux fonds L et L′ de la chaudière, soit pour nettoyer les trous du fond L, soit pour enlever les portions de sirop qui peuvent couler entre les fonds; c'est dans ce double but qu'on a ménagé un petit conduit *u* (fig. 6) contre l'un des bords de la chaudière : ce conduit communique avec un tube par lequel on donne la vapeur quand cela est nécessaire, ce qui arrive ordinairement après quatre ou cinq cuites. La vapeur non condensée et l'eau de condensation s'échappent par un tuyau *l*′ ouvert dans le fond L, et terminé par un robinet.

La machine soufflante donne environ 10 mètres cubes d'air par minute; l'air entre dans le sirop à 135° et en sort à 95°; le sirop est maintenu par la vapeur à une température comprise entre 75 et 80°.

1197. Les appareils de M. Brame-Chevalier ont complétement disparu

de l'industrie, parce qu'ils sont très-compliqués, d'un prix très-élevé, qu'ils consomment plus de combustible que les appareils qui évaporent dans le vide, et enfin parce que le sirop, à cause de sa viscosité, retient une grande quantité d'air qui nuit à la cristallisation.

La disposition représentée par les figures 1, 2 et 3 (pl. 51), serait bien préférable sous tous les rapports. En chauffant le sirop à la vapeur, on pourrait évaporer aussi rapidement qu'on le désirerait, à une température déterminée, avec une faible dépense de travail pour lancer l'air, et une faible dépense de chaleur pour le chauffer; car l'air serait principalement chauffé par la condensation de la vapeur qui serait entraînée mécaniquement à l'état vésiculaire. Mais, comme nous le verrons, les appareils à cuire dans le vide présentent encore plus d'avantages.

§ 5. — ÉVAPORATION PAR LA VAPEUR.

1198. Dans tous les modes d'évaporation produite par la chaleur, on peut se servir de la vapeur d'eau ou de celle de tout autre liquide pour chauffer les matières qui doivent être évaporées. Mais jusqu'ici on n'a employé que la vapeur d'eau.

Ce mode de chauffage ne présente point, en général, d'économie de combustible sur le chauffage direct, puisque, dans la formation de la vapeur, il y a autant de perte de chaleur que dans le chauffage direct du liquide à évaporer, et même cette perte est un peu plus considérable.

1199. Cependant il est des circonstances dans lesquelles il y a réellement économie; c'est ce qui arrive quand les appareils évaporatoires exigent plusieurs fourneaux alimentés chacun par un foyer, parce que la vapeur pouvant être fournie par un seul, la perte de chaleur par les parois d'un seul fourneau est plus petite que celle qui a lieu par plusieurs produisant ensemble le même effet. Mais l'emploi de la vapeur est principalement avantageux pour évaporer les dissolutions de certaines substances végétales qui, à cause de leur viscosité ou des dépôts qui se forment pendant l'évaporation, peuvent facilement être altérées lorsque les chaudières sont exposées directement au feu; cet inconvénient ne peut pas exister par le chauffage à la vapeur, parce que les surfaces mé-

talliques qui transmettent la chaleur ne peuvent jamais s'échauffer au delà de la température de la vapeur.

1200. Tous les appareils destinés à évaporer des liquides par le chauffage à la vapeur d'eau, sont essentiellement composés : 1° d'une chaudière à vapeur, dans laquelle la vapeur est formée sous une pression suffisante pour que sa température dépasse au moins de 15 à 20 degrés celle à laquelle l'évaporation doit avoir lieu ; 2° d'une ou plusieurs chaudières évaporatoires que la vapeur chauffe, ou extérieurement en se condensant dans une double enveloppe, ou intérieurement en passant dans un appareil analogue aux serpentins des appareils distillatoires.

1201. Les chaudières à vapeur doivent être construites, ainsi que tous les appareils qui en dépendent, d'après les procédés que nous avons développés dans le 1er volume de cet ouvrage.

1202. Les chaudières évaporatoires sont de formes très-variées; les seules conditions auxquelles elles soient assujetties sont : 1° de ne point être altérées par le liquide à évaporer; 2° quand elles sont chauffées extérieurement, d'avoir une forme et une épaisseur qui leur permette de résister à la pression de la vapeur qui tend à les déformer et à les déchirer.

1203. Les surfaces de condensation de la vapeur, comme nous l'avons dit, peuvent être en dehors ou en dedans des chaudières; dans le premier cas, la surface de la chaudière forme une des parois du canal, la seule qui communique la chaleur au liquide; dans le second, toute la surface du canal parcouru par la vapeur échauffe le liquide.

1204. De quelque manière que soient disposés les canaux dans lesquels circule la vapeur, qu'ils soient extérieurs aux chaudières, ou composés de tuyaux de différentes formes, diversement contournés et placés dans les chaudières, ils doivent toujours satisfaire à plusieurs conditions : 1° ils doivent avoir une épaisseur suffisante pour n'être ni déformés ni déchirés par la tension de la vapeur; 2° ils doivent être disposés de manière que l'air puisse facilement en être expulsé au commencement de la chauffe et à faciliter l'écoulement de l'eau de condensation dans un réservoir extérieur, ou dans la chaudière à vapeur; 3° enfin ils doivent avoir une surface suffisante pour condenser, dans un temps donné, une quantité de vapeur égale à celle que doit émettre le liquide soumis à l'évaporation. Il est d'ailleurs parfaitement indifférent

que l'espace dans lequel circule la vapeur soit ou ne soit pas interrompu par des diaphragmes, seulement il peut arriver, dans certaines circonstances, que la présence des diaphragmes facilite au commencement de l'opération l'expulsion totale de l'air.

1205. L'évacuation de l'air des canaux dans lesquels circule la vapeur est une condition d'une importance extrême, car la présence de l'air, même en petite quantité, diminue beaucoup la transmission de la chaleur à travers les parois de l'enveloppe de la vapeur.

1206. Il est également important de faire évacuer l'eau de condensation à mesure qu'elle se forme, car cette eau, séjournant dans les canaux, diminuerait nécessairement l'étendue de la surface de chauffe. Dans quelques circonstances, on peut la faire retourner directement à la chaudière; mais le plus souvent on la recueille dans une bâche, d'où elle est ensuite introduite dans la chaudière par les différents moyens que nous avons décrits dans le premier volume de cet ouvrage.

1207. Quant à l'étendue de la surface de condensation de la vapeur; nous avons vu (705) que la quantité de chaleur qui se transmet à travers une plaque de cuivre de $0^m,001$ d'épaisseur, dont les deux surfaces sont maintenues à des températures constantes, est égale à 19,11 unités par mètre carré et par seconde, pour une différence de température de 1°, ce qui correspond environ à la condensation de 125 kilog. de vapeur par heure. Mais comme, dans le cas dont il s'agit, les couches liquides qui mouillent les surfaces métalliques se renouvellent difficilement, la transmission est beaucoup plus petite; elle est d'ailleurs encore beaucoup diminuée par l'air qui reste dans les appareils ou qui est amené par la vapeur.

1208. D'après Clément, un mètre carré de cuivre mince exposé d'un côté à la vapeur à 100°, et en contact par l'autre face avec de l'eau à une température moyenne de 28°, condense par heure 100 kilogr. de vapeur; ce qui revient à une condensation de $100 : 72 = 1^k,4$ par mètre carré par heure, et pour une différence de température de 1°. Clément n'a pas décrit l'appareil qu'il a employé; mais tout fait présumer qu'il ne l'avait pas disposé de manière à faciliter l'expulsion de l'air. Des expériences plus récentes donnent des résultats beaucoup plus considérables.

1209. Dans un appareil de la forme indiquée par la figure 7 (pl. 52), qui renfermait 900 kilog. de jus de betterave à la température de 4° et

chauffé par la vapeur à la température moyenne de 135°, le liquide a été porté à l'ébullition en 16′, ce qui correspond à 324000 unités de chaleur par heure pour une différence moyenne de température de 83°; et comme la surface du double fond était de $2^m,40$, cette quantité de chaleur correspond à la condensation de 245 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure, pour une différence de température de 83° ou à $2^k,97$ pour une différence de température de 1°, nombre beaucoup plus grand que celui qui a été donné par Clément. Dans cet appareil, le tuyau à vapeur avait 4 centimètres de diamètre intérieur, et le tube à air était seulement à $0^m,12$ au-dessus du double fond et du côté du tuyau à vapeur, circonstances très-défavorables pour le dégagement de l'air.

Dans les appareils formés d'un seul tuyau d'un très-petit diamètre, dans lesquels l'air peut être complétement expulsé, la condensation est beaucoup plus considérable. Nous rapporterons à cette occasion les résultats d'une expérience faite par MM. Thomas et Laurens, sur une bassine évaporatoire chauffée par la vapeur qui circulait dans un serpentin d'un petit diamètre.

Le tuyau avait 42 mètres de longueur, 0,034 de diamètre extérieur, et $4^m,48$ de surface. On introduisit 400 kilog. d'eau à 8° dans la chaudière, et l'on fit circuler dans le serpentin de la vapeur d'eau à une tension moyenne de trois atmosphères, et par conséquent à 135°. En 4 minutes, l'eau fut amenée à l'ébullition, et après 15 minutes, 250 kilog. d'eau avaient été vaporisés. Ainsi en 11 minutes, pour une différence de température de 35°, une surface de $4^m,48$ avait vaporisé 250 kilog. d'eau, ce qui fait $8^k,70$ de vapeur condensée par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de 1°. Dans une autre expérience, il y avait deux serpentins, chacun avait 15 mètres de développement et 34 millimètres de diamètre intérieur, et ils présentaient ensemble une surface extérieure de $3^m,67$. La vapeur circulant dans les serpentins à une température moyenne de 2 atmosphères, on a évaporé 60 kilog. d'eau en 5 minutes, ce qui correspond à 196 kilog. par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de 21°, ce qui fait à peu près $9^k,33$ de vapeur pour une différence de 1°.

1210. En résumé, pour des appareils à double fond dans lesquels le tube à air est bien disposé, on doit admettre que chaque mètre carré peut condenser par heure 3 kilog. de vapeur pour une différence de

température de 1°, et que, pour les serpentins, cette quantité s'élève à 8 kilog.; mais à la condition que les serpentins ayant 25 à 35 millimètres de diamètre intérieur, n'aient pas plus de 20 à 30 mètres de longueur.

Quant aux appareils à grille, comme on ne peut pas en expulser complétement l'air, et qu'on ne peut pas être assuré que tous les tubes fonctionneront, il ne faudrait pas compter sur une condensation supérieure à celle des appareils à double fond.

1211. Dans tous les cas, il faut prendre pour température de la vapeur, non pas celle de la vapeur dans la chaudière, mais la température moyenne de la vapeur dans l'appareil. En général, quand les appareils ont des dimensions suffisantes, on s'éloignera peu de la vérité en prenant pour cette température, celle de la vapeur sous une tension égale à celle de la chaudière diminuée d'une atmosphère.

1212. Afin de donner une idée de la méthode qu'il faudra employer pour calculer la quantité de vapeur de chauffage à produire et l'étendue de la surface de chauffe d'un appareil, nous prendrons pour exemple la concentration du sirop. Le sirop, avant la cuite, porte le nom de clairce; il est ordinairement composé de 30 parties d'eau et de 70 parties de sucre. Pour être amenée à 47° de l'aréomètre, qui est le degré de concentration ordinaire, il doit perdre à peu près 15 pour 100 d'eau. Ainsi, si on voulait concentrer par heure 10000 kilog. de clairce, il faudrait évaporer 1500 kilog. d'eau et élever la masse à la température de l'ébullition. En supposant que la vapeur soit à trois atmosphères et par conséquent à 135°, et la clairce à 20°, comme la chaleur spécifique de la clairce est moitié de celle de l'eau, la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer la masse à 110°, qui est à peu près la température de l'ébullition, sera $10000 \times 90 : 2 = 450000$, qui correspond à $450000 : 550 = 818^k,1$ de vapeur; ainsi la quantité totale de vapeur à fournir par heure sera égale à $1500 + 818^k,1 = 2318^k,1$. Quant à l'étendue de la surface de chauffe, il faut remarquer que, pendant le chauffage de la clairce, la différence moyenne de température de la vapeur et du liquide est $(135 + 20 + 135 + 110) : 4 - 65 = 35$, tandis que la différence moyenne de la température de la vapeur sur celle de la clairce pendant l'évaporation, diffère peu de 21°. On voit alors que, sous le rapport du temps, tout se passera comme s'il s'agissait de condenser $1500 + \frac{21}{35} 818^k = 1990^k$

par heure, avec une différence de température de 21°. Alors l'étendue de la surface de chauffe, en supposant que la vapeur parcoure des serpentins, serait de $1990:21 \times 8 = 12^{m},50$. D'après ce que nous avons dit précédemment, il faudra 3 à 4 appareils.

Nous allons maintenant examiner les différentes dispositions des appareils.

1213. L'appareil représenté par la figure 1 (pl. 52) est le plus simple qu'on puisse employer pour le chauffage et l'évaporation par la vapeur; il est composé de deux chaudières placées l'une dans l'autre, dont les collets sont maintenus par des boulons; on met de l'eau dans l'intervalle qui les sépare, et dans la chaudière intérieure le liquide à évaporer. Une soupape de sûreté s'oppose à ce que la tension de la vapeur dépasse la limite fixée; un tube latéral indique le niveau de l'eau dans le double fond; un tube garni d'un robinet et d'un entonnoir permet d'introduire de l'eau dans le double fond pour la première fois, et de remplacer celle qui peut s'échapper à l'état de vapeur par la soupape de sûreté; le liquide évaporé s'écoule par un tube garni d'un robinet. L'appareil est placé sur un foyer qui chauffe directement la chaudière extérieure. L'appareil de la figure 1 ayant à peu près 3 mètres carrés de surface de chauffe directe ne pourrait pas évaporer plus de 70 à 80 kil. d'eau par heure.

1214. La disposition la plus simple, ensuite, est représentée fig. 2 (pl. 52). La chaudière d'évaporation est placée à côté et un peu au-dessus de la chaudière à vapeur; elle est garnie d'un double fond dont la paroi inférieure est inclinée vers la chaudière à vapeur; le même tube sert à conduire la vapeur et à ramener l'eau condensée dans la chaudière; le robinet pour l'évacuation de l'air est placé à l'extrémité opposée. On pourrait remplacer le double fond par un tuyau serpentant sur le fond de la chaudière, et terminé par le robinet à air, figures 3 et 4 (pl. 52).

1215. On donne souvent aux chaudières d'évaporation les formes fig. 5, 7 et 8 (pl. 52), dans lesquelles A représente le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière; B, celui de retour d'eau; C, le tube à air; et D le tuyau d'écoulement du liquide concentré. La première disposition a l'avantage de permettre de placer latéralement le tuyau d'écoulement du liquide concentré. La dernière permet de placer plus facile-

ment ce tuyau, qui, dans la disposition de la figure 7, est difficilement rendu étanche.

1216. Dans les appareils fig. 2, 3 et 4, la vapeur et l'eau de condensation, comme nous l'avons dit, s'écoulent par le même canal. Quoique cette disposition soit très-simple, elle est rarement employée, parce qu'elle exige que la chaudière d'évaporation soit au-dessus de la chaudière à vapeur, que le canal commun ait un grand diamètre, et qu'il s'élève d'une manière continue, et parce qu'enfin les mouvements en sens contraire de l'eau et de la vapeur se gênent toujours.

1217. Quelquefois on fait revenir l'eau de condensation à la chaudière par un tuyau distinct et qui descend jusqu'au fond de la chaudière. Mais pour éviter que l'eau de la chaudière ne soit élevée dans l'espace où la vapeur se condense, on place sur le tuyau une boîte M (fig. 5) garnie d'une soupape disposée comme l'indique la figure 6. La pression de la vapeur la maintient fermée, et elle ne s'ouvre que quand le poids de la colonne d'eau condensée, augmenté de la pression qui reste dans la chambre de condensation, peut vaincre la pression dans la chaudière; ce qui arrive toujours après un temps plus ou moins long; car l'eau, après avoir rempli la portion du tuyau qui précède la soupape, s'accumule dans la chambre de condensation, diminue l'étendue de la surface de condensation, et, en diminuant la condensation elle-même, augmente la force élastique de la vapeur dans la chambre. Dans le cas le plus défavorable, le retour d'eau fonctionnerait nécessairement après chaque opération, quand on aurait vidé la chaudière.

Mais le plus souvent on emploie les différents appareils que nous avons décrits en parlant de l'alimentation des chaudières à vapeur.

Pour expulser plus facilement l'air des chambres de condensation, et pour augmenter les surfaces de condensation, on a imaginé un grand nombre de dispositions différentes que nous décrirons successivement.

1218. Les figures 10, 11 et 12 (pl. 52) représentent deux coupes verticales et une projection horizontale d'une chaudière d'évaporation, dans laquelle la vapeur circule dans un faisceau de tubes parallèles soudés par leurs extrémités à deux tubes d'un plus grand diamètre. La vapeur arrive par le robinet A, et pénètre dans le tube CD, mais seulement jusqu'à une cloison *mn* qui sépare en deux parties égales sa capacité intérieure; de là, la vapeur entre à la fois dans la moitié des tubes parallèles,

pour revenir par l'autre moitié en poussant devant elle l'eau condensée qui s'échappe par le robinet B. Les robinets A et B ont un boisseau et une clef conique disposés de manière que la pression de la vapeur, dans l'intérieur de la clef, la presse contre le boisseau. Alors les robinets sont d'autant plus étanches, que la tension de la vapeur est plus grande. Les figures 13, 14 et 15 représentent une élévation, une coupe et une projection horizontale d'un de ces robinets.

Cette disposition a plusieurs inconvénients : 1° la vapeur circule rarement dans tous les tubes, par conséquent l'air n'est pas complétement expulsé, et une partie de la surface de chauffe est perdue ; 2° l'inégale dilatation des tubes qui restent pleins d'air et de ceux dans lesquels circule la vapeur, fait souvent casser les soudures ; 3° on ne peut nettoyer la chaudière qu'en dévissant les brides qui fixent la grille à la chaudière.

1219. Les figures 1 et 2 (pl. 53) représentent une coupe verticale et une projection d'un appareil dans lequel les inconvénients que nous venons de signaler n'existent pas, du moins au même degré. La chambre de condensation est formée d'un seul canal continu ; la vapeur arrive par les deux extrémités *a* et *a'*, et l'eau de condensation s'échappe par le tuyau *b*. La grille est simplement posée dans la chaudière, et on peut l'enlever en dévissant les écrous roulants qui établissent la communication des tuyaux *a*, *a'* et *b* avec leur prolongement ; mais il est préférable d'abaisser la chaudière. La figure 3 représente le mode de réunion des tuyaux entre eux et avec le cadre qui empêche la déformation de la grille. Le mode de jonction des tuyaux serait avantageusement remplacé par des écrous roulants.

1220. Les figures 4 et 5 (pl. 53) représentent un autre mode de jonction des tuyaux ; les extrémités des tuyaux sont seulement appliquées les unes contre les autres et fortement serrées par des tiges à écrous.

Ces deux dispositions exigent beaucoup de soins dans l'ajustage, et sont par conséquent d'un prix très-élevé.

1221. Les figures 6, 7 et 8 (pl. 53) représentent une autre forme de grille. Au-dessous du fond de la chaudière se trouve une plaque de fonte garnie d'arêtes qui forment les bords d'un canal continu ; le fond de la chaudière est fixé sur la plaque de fonte par des tiges en cuivre à écrous et à têtes perdues. Cet arrangement est compliqué, et il doit être difficile de rendre la chaudière parfaitement étanche.

En Angleterre, Spiller construit les fonds des chaudières avec deux plaques de cuivre, dont l'une ou toutes les deux sont embouties de manière à former par leur réunion un ou plusieurs canaux que parcourt la vapeur; les deux fonds sont réunis par des rivets (fig. 9, 10, 11, 12, pl. 53); ce mode de construction a mal réussi en France.

1222. Dans la disposition représentée par les figures 13 et 14 (pl. 53), due à M. Pecqueur, la vapeur pénètre d'abord dans la partie AB du tube rectiligne; elle parcourt simultanément les tubes recourbés, et s'échappe par la partie BC du grand tube; par cette disposition on évite, du moins en partie, les effets qui résultent de l'inégale dilatation des tubes.

1223. Les figures 15 et 16 représentent une autre disposition de grille. Chaque tube en renferme un plus petit qui amène la vapeur à son extrémité. Cette disposition est compliquée, mais elle évite complétement les effets provenant de l'inégale dilatation des tubes.

1224. Tous les appareils que nous venons de décrire sont trop compliqués. Le meilleur de tous est sans contredit un tube contourné en spirale (fig. 17, pl. 53). Ce tube peut être formé d'une seule pièce de cuivre rouge, il est par conséquent d'un prix beaucoup moins élevé que les appareils décrits précédemment; d'ailleurs l'air peut en être expulsé complétement, et les différentes parties peuvent se dilater librement, quelle que soit l'inégalité de leur température. Il doit être d'un petit diamètre, et sa longueur ne doit pas dépasser une certaine limite, car autrement la vapeur ne pourrait pas parvenir à son extrémité, et une partie de sa surface serait perdue comme surface de chauffe. Pour de la vapeur à 3 ou 4 atmosphères et des tuyaux de 25 à 35 millim. de diamètre intérieur, la longueur du serpentin ne doit pas dépasser 20 à 30 mètres; mais on peut en placer plusieurs dans la même chaudière.

1225. Comme il est important de pouvoir nettoyer facilement les grilles, on dispose souvent les appareils de manière à pouvoir enlever la grille de la chaudière en dévissant deux écrous roulants qui réunissent les extrémités de la grille avec le tuyau à vapeur et avec celui de retour d'eau. On pourrait même se contenter de rendre la chaudière mobile de haut en bas (fig. 6, 7, 8, pl. 51), si la grille, pour être nettoyée, ne devait pas supporter un grand effort; mais ce n'est pas le cas des grilles qui sont employées dans les fabriques de sucre indigène, car pour enlever les dépôts calcaires qui les recouvrent, il faut les frotter vivement

avec du sable. Les grilles, dans ces derniers établissements, doivent être nettoyées au moins tous les 4 jours, et dans les circonstances les plus défavorables une fois par jour.

1226. Pour faciliter le nettoyage des grilles, plusieurs constructeurs ont imaginé de les rendre mobiles autour d'un axe, et cela sans intercepter les communications. Nous décrirons les appareils de M. Moulfarine et de M. Pecqueur.

1227. L'appareil de M. Moulfarine est représenté dans les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8 (pl. 54). La figure 1 est une élévation latérale; la figure 2 une coupe verticale prise par le milieu de la longueur; la figure 3 une projection horizontale; la figure 4 une coupe horizontale par l'axe de la grille, à une échelle double.

A, chaudière en cuivre de forme rectangulaire, reposant sur quatre colonnes en fonte, qui elles-mêmes sont ordinairement fixées sur un massif en maçonnerie. B, grands tubes en cuivre placés à égale distance du fond de la chaudière où ils forment une grille horizontale enveloppée par le sirop. Ils sont fermés par l'extrémité libre et vissés par l'autre bout sur le tuyau C. On voit dans les figures 3 et 4 que cette dernière pièce est terminée d'une part par un tronc de cône percé latéralement comme la bague en cuivre qui l'environne, pour permettre la libre communication entre les tubes extérieurs B, et le tuyau coudé F; elle est supportée à l'autre extrémité par la pointe d'une vis *f*: par cette disposition on peut relever la grille et la nettoyer, ainsi que le fond de la chaudière. D, tubes renfermés dans les premiers et ouverts à leurs extrémités libres; ils sont montés à vis sur le diaphragme *a* qui sépare en deux parties l'intérieur du tube C. F, robinet à double orifice, dont la clef est mise en mouvement au moyen de la pièce *b* (la figure 6 représente ce robinet coupé suivant la ligne *xx*, fig. 4). Le premier orifice *c* sert à l'introduction de la vapeur, qui se rend d'abord dans les tuyaux D, revient ensuite par l'intervalle qui sépare les tuyaux B et D, et sort avec l'eau de condensation par l'orifice *e*. F, tuyau recourbé établissant la communication entre les tubes B et le tuyau de sortie G. H, robinet placé au-dessous et au centre de la chaudière, pour la vider lorsque le sirop est cuit. Pour faciliter cet écoulement, le fond de la chaudière est un peu concave.

La figure 5 représente le double robinet E des tuyaux d'entrée et de

sortie de la vapeur, et un fragment de la pièce C dégarnie des tubes qui viennent y aboutir. La figure 6 est une coupe verticale par l'axe du robinet. La figure 7 une coupe suivant la ligne *yy* (fig. 4). La figure 8 représente la disposition de la traverse I qui maintient l'écartement des tubes B; elle se compose de deux parties qui se réunissent aux extrémités par des vis, et qui renferment autant d'orifices circulaires qu'il y a de tubes; les vis de pression *f* sont destinées à servir d'appui à la grille en laissant un intervalle entre elle et la chaudière.

1228. Les figures 9, 10, 11 et 12 (pl. 54) représentent une autre disposition beaucoup plus simple due à M. Pecqueur. La grille à vapeur est disposée comme dans la figure 13 (pl. 53); les tubes peuvent éprouver de grandes différences de dilatation sans que les jonctions de leurs extrémités avec les tuyaux auxquels ils sont soudés, éprouvent de dérangements. La grille est mobile autour de deux boîtes fixées à la chaudière, dont l'une amène la vapeur et dont l'autre donne issue à l'eau de condensation; par conséquent la grille peut être relevée sous un angle quelconque pour faciliter son nettoyage et celui de la chaudière. Enfin la chaudière peut aussi être relevée de manière à faciliter l'écoulement du sirop cuit par le robinet de vidange.

A, chaudière de cuivre mobile autour de l'axe B. CC, pièces de fer fixées au-dessous de la chaudière et traversées par l'axe DD. EE, pièces soudées à l'axe FF mobile dans des coussinets fixes. Ces pièces sont articulées à deux autres d'une petite longueur, fixées à l'axe mobile DD. En faisant faire un demi-tour à l'axe DD au moyen d'une manivelle, on relèvera ou on abaissera la partie inférieure de la chaudière. H est le tuyau d'arrivée de la vapeur; I le tuyau de retour d'eau; L le robinet de vidange. La partie de cet appareil qui est destinée à soulever la chaudière, pourrait évidemment être remplacée avec avantage par une crémaillère, ou par une corde passant sur une poulie. Les figures 13 et 14 représentent sur une plus grande échelle les détails de la boîte tournante L, par laquelle s'effectue le retour d'eau de condensation. Un clapet N est destiné à empêcher l'eau condensée de revenir dans la grille, s'il arrivait que l'on fermât le robinet d'admission R sans avoir fermé auparavant le robinet R′. K est le tube qui sert à expulser l'air au commencement de l'opération. La boîte H ne diffère de celle-ci que par l'absence du tube à air K et du clapet N. La

figure 15 représente le mode d'ajustement des tubes sur les boîtes tournantes.

Tous ces appareils sont beaucoup trop compliqués : de simples serpentins faciles à démonter, pour le nettoyage, et placés dans des chaudières dont le fond est un peu incliné vers le tuyau de vidange, pour éviter la nécessité de faire basculer les chaudières, sont encore bien préférables sous tous les rapports.

1229. M. Perpigna a imaginé une disposition très-différente de celles que nous venons de décrire. L'appareil se compose d'un tube de cuivre plié en hélice autour d'un axe horizontal mobile; l'hélice plonge par sa partie inférieure dans une bassine pleine de sirop, et le tube est traversé par un courant de vapeur. L'hélice étant soumise à un mouvement continu de rotation, la partie du tuyau qui se trouve exposée à l'air, produit une évaporation assez rapide du sirop qui en recouvre la surface, et qui se renouvelle continuellement. Cet appareil est compliqué, il exige un moteur particulier, et ne présente réellement aucun avantage sur les appareils fixes ; aussi n'a-t-il jamais été employé.

1230. *Évaporation par des bains d'huile chaude.* Pour porter la chaleur des foyers dans le liquide à évaporer, on a employé différentes substances, principalement dans le but de ne mettre en contact avec le liquide que des corps dont la température fût peu élevée au-dessus de celle à laquelle l'évaporation devait avoir lieu. Nous avons vu que la vapeur d'eau remplit parfaitement cet objet.

Wilson, pour chauffer des liquides à une température supérieure à 100°, s'est servi d'huile qu'il échauffait à part, et qu'il faisait circuler, au moyen d'une pompe, dans un serpentin plongé dans le vase contenant le liquide qui devait être vaporisé. Cette disposition a été employée pour la concentration des sirops; l'huile était amenée à la température de 120 et quelques degrés : à cette température, elle ne laissait pas dégager une quantité sensible de vapeurs. On a trouvé que l'huile de baleine épurée était préférable aux autres.

Cet appareil a plusieurs graves inconvénients : 1° il est difficile de régler le feu de manière à maintenir constamment l'huile à la température convenable; 2° une quantité assez notable d'huile doit être vaporisée ou décomposée; 3° il faut une force assez considérable pour faire mouvoir la pompe. L'emploi de la vapeur d'eau, à une pression

de deux ou trois atmosphères, est bien préférable sous le rapport économique, et cette faible pression ne présente aucun danger qui ne puisse facilement être prévenu.

§ 6. — Évaporation dans le vide.

1231. L'évaporation dans le vide pourrait se faire à la température ordinaire, au moyen d'une matière ayant une très-grande affinité pour l'eau et placée dans la même enceinte que le liquide à évaporer. Le prix de l'évaporation consisterait 1° dans la dépense qu'exigerait la production du vide; 2° dans la valeur du combustible nécessaire pour dessécher la matière absorbante. Ce mode d'évaporation n'est guère applicable que sur une petite échelle. Nous y reviendrons cependant dans le chapitre suivant, parce qu'il pourrait être employé avec quelques avantages pour la dessiccation des matières animales.

1232. Mais l'emploi simultané du vide, ou du moins d'une diminution de pression, et de la chaleur, est maintenant très-usité, surtout dans les raffineries de sucre et dans les fabriques de sucre indigène, parce que l'on évapore sans le contact de l'air et surtout très-rapidement, circonstances favorables à la conservation des sirops.

Ce mode d'évaporation a été mis à exécution pour la première fois en Angleterre par Howard; mais il a éprouvé depuis de grandes modifications, principalement dans les moyens employés pour faire le vide. Nous décrirons d'abord l'appareil d'Howard, et successivement ceux qu'on a essayé de lui substituer.

1233. *Appareil d'Howard.* Cet appareil est représenté figure 16 (pl. 54). A est une chaudière formée de deux calottes de cuivre rouge fortement boulonnées, destinée à cuire le sirop; elle est garnie d'un double fond dans lequel arrive la vapeur par le tuyau C. D est le tuyau de retour d'eau sur lequel est fixé le robinet du tube à air. E est une chambre où se réunissent les vapeurs; le sirop qui pourrait être entraîné mécaniquement retombe dans la chaudière. G est la chambre de condensation à laquelle aboutit un tuyau en communication avec la pompe à air destinée à maintenir le vide dans l'appareil, et qui n'est pas indiquée dans le dessin; l'eau froide arrive dans l'espace G par l'ouverture H lorsque, par le mouvement de la manivelle à vis I, on a soulevé la sou-

pape K et le piston L. F est le tuyau qui conduit les vapeurs de la chaudière au condenseur; un tube établit la communication de cet espace avec un manomètre P qui indique la pression sous laquelle on produit l'évaporation. Un tuyau F′ est destiné à conduire les vapeurs condensées dans la capacité O, d'où il est facile d'évacuer l'eau au moyen du robinet R. M est le tuyau d'alimentation d'eau froide. N est un petit appareil destiné à prendre du sirop d'épreuve dans la chaudière, sans établir la communication entre sa capacité et l'air extérieur. Il est représenté sur une plus grande échelle figure 8 (pl. 55). Q est un thermomètre destiné à indiquer à chaque instant la température du sirop.

Dans ces appareils il y a toujours une différence de température de 9 à 12° entre la température de l'eau de condensation et celle du sirop.

La pompe à air exige un travail de 2 chevaux-vapeur, pour une fonte de 12000 kilog. de sucre brut par jour, ou une fabrication de 100 pains par heure, ou de 600 à 700 kilogr. de sucre blanc, et pour une condensation de 500 kilogr. de vapeur par heure. Le volume d'eau froide employé est à peu près de 10 à 11 mètres cubes par heure, l'eau de condensation étant à 30°.

1234. *Appareil de Roth.* Cet appareil ne diffère réellement de celui d'Howard qu'en ce que le vide est produit par la vapeur. La figure 1re (pl. 55) représente une coupe d'un appareil de Roth. A est la chaudière de cuite disposée comme dans l'appareil d'Howard, mais elle renferme un serpentin B dans lequel circule la vapeur. D est un vase en tôle épaisse dans lequel s'opère la condensation de la vapeur; il est garni d'un manomètre et d'un indicateur de niveau. E est le tuyau à vapeur communiquant avec la chaudière. F, G et H, les robinets d'admission de la vapeur dans le double fond, dans le serpentin et dans la chaudière. G′ et F′, les robinets de retour d'eau du double fond et du serpentin. I, le robinet destiné à introduire du beurre pour empêcher la cuite de devenir mousseuse. K est le robinet du tuyau qui plonge dans le vase ouvert renfermant le sirop à cuire. L, le robinet du tuyau d'écoulement du sirop cuit. M, le tuyau qui conduit les vapeurs dans le condenseur. N est un assemblage de plaques métalliques percées d'un grand nombre de trous à travers lesquels l'eau froide se répand en très-petits filets qui sont traversés par la vapeur. P, le robinet du tuyau d'alimentation de l'eau froide; Q, le réservoir d'eau froide, et R le robi-

net pour évacuer l'eau chaude et l'air à la fin de chaque opération.

Voici la manière d'opérer. La chaudière étant vide, en ouvrant les robinets H et R, les autres étant fermés, la vapeur s'introduit dans la chaudière et dans le condenseur; un mélange d'air et de vapeur sort par le robinet R, et après deux minutes environ, lorsqu'on suppose que tout l'air a été expulsé, on ferme ces robinets et on ouvre le robinet K d'admission du sirop; le liquide s'élève d'abord lentement par la condensation progressive de la vapeur dans la chaudière, occasionnée par le refroidissement de l'enveloppe, et ensuite très-rapidement quand une partie a pénétré dans la chaudière, à cause de la condensation brusque qu'elle occasionne. Lorsque le sirop, dans le bassin, est descendu à une limite fixée, on ferme le robinet K, et on ouvre les robinets F et G qui admettent la vapeur dans le double fond et dans le serpentin, ainsi que les robinets des retours d'eau, et quelques instants après le robinet d'injection P. Après quelques minutes on prend du sirop au moyen de la sonde, et quand il est arrivé au point convenable on ferme le robinet P d'injection; le sirop s'échauffe, et quand il est parvenu à 80 ou 90°, on ouvre le robinet de rentrée d'air et le robinet L, et le sirop cuit s'écoule. Pour procéder à une nouvelle opération, on ouvre le robinet R; l'eau chaude s'écoule, et on introduit de nouveau la vapeur dans la chaudière pour expulser l'air qui remplit la chaudière et le condenseur.

1235. La consommation d'eau doit être la même dans les appareils d'Howard et de Roth, la cuite ayant lieu à la même température. M. Roth l'estime à quatre fois le poids du sirop à cuire. D'après M. Roth, une chaudière de cuite ayant 2 mètres de diamètre, suffit complétement au travail qu'exige une fabrique opérant journellement sur 25,000 kilog. de sucre brut.

1236. Dans le Bulletin de la société d'encouragement, t. 30, où l'appareil de M. Roth est décrit, on trouve plusieurs assertions de l'auteur qui ont besoin d'explication, et d'autres qui sont complétement inexactes. M. Roth prétend qu'il faudrait quatre appareils d'Howard de mêmes dimensions qu'un seul des siens pour faire le même travail; mais c'est à la condition qu'ils auront chacun quatre fois moins de surface de chauffe, car il est bien évident que des appareils d'Howard et de Roth de mêmes dimensions, ayant la même surface de chauffe, et dans lesquels le vide serait maintenu au même point, devraient faire exacte-

ment le même travail. L'assertion de M. Roth serait probablement exacte pour des appareils d'Howard dans lesquels le sirop ne serait chauffé que par le double fond ; ce serait aussi uniquement pour ces appareils que la durée des opérations serait quatre fois plus longue dans les appareils de Roth. M. Roth affirme encore que pour un appareil de moyenne grandeur qui correspond à une raffinerie qui fond 25 milliers de sucre brut par jour, la pompe à air de l'appareil d'Howard exigerait une force de 15 à 20 chevaux. Cette dernière assertion est complétement erronée. En effet, un travail journalier de 25,000 kilogr. de sucre brut par jour, ou de 2,500 kilogr. par heure, la journée de travail étant au plus de 10 heures, exige par heure à peu près 1000 kilog. de vapeur d'eau, qui correspond à $\frac{1000}{5} = 200$ kilog. de houille ; la chaudière à vapeur serait donc égale à celle d'une machine à vapeur de la force de $\frac{200}{5} = 40$ chevaux. Or, la pompe à air d'une semblable machine qui doit consommer à très-peu près la même quantité de travail que la pompe à air d'une machine d'Howard employant la même quantité de vapeur, exige au plus la force de 3 à 4 chevaux. Ainsi l'assertion de M. Roth est singulièrement exagérée.

Il y a plus, c'est qu'une machine d'Howard consomme réellement moins de vapeurs pour établir et maintenir le vide qu'une machine de Roth : c'est un fait bien constaté par l'expérience et dont il est d'ailleurs facile de se rendre compte. La pompe à air d'une chaudière d'Howard exigeant 2 chevaux, si on admet qu'un cheval consomme 5 kilogr. de houille par heure, et que dans la chaudière à vapeur 1 kilogr. de houille ne produise que 5 kilogr. de vapeur, circonstances très-défavorables, la pompe à air exigerait par heure, en supposant la vapeur à basse pression, un volume de vapeur égal à $50 : 0{,}59 = 85^{m.c.}$. Or, la capacité de la chaudière du condenseur de Roth est de $10^{m.c.}$; en admettant deux opérations par heure, le volume d'air à chasser serait par heure de $20^{m.c.}$; mais comme la vapeur est mêlée avec l'air, il faut certainement, pour expulser l'air, un volume de vapeur 5 à 6 fois plus grand ; en le supposant seulement quintuple, ce qui est au-dessous de la réalité, la dépense de vapeur d'un appareil de Roth l'emporterait sur celle des appareils dans lesquels le vide est fait et maintenu par une action mécanique. Mais la consommation de vapeur des appareils de Roth est encore beaucoup augmentée par l'eau qui mouille les parois du condenseur et

celle qui reste dans l'appareil de distribution de l'eau. Il y a d'ailleurs un fait sans réplique : dans tous les appareils de Roth établis dans les raffineries et dans les fabriques de sucre, on a remplacé le condenseur par des pompes ; ces appareils deviennent alors identiques aux appareils d'Howard ; or, pour des appareils moyens correspondant à une fonte de sucre de 10 à 12,000 kilogrammes par jour, on a établi de petites machines à vapeur de 3 ou 4 chevaux, qui font mouvoir les pompes, et font en général un autre service qui réduit à 2 chevaux seulement la force qu'exige le premier travail.

1237. M. Degrand, pour estimer la quantité de vapeur consommée dans les appareils de Roth, établit son calcul d'une autre manière. Il dit qu'il y a 9′ d'intervalle entre deux opérations ; que sur ces 9′ il y en a 6 consacrées à purger d'air les appareils ; que la durée de chaque opération étant de 30′, il y a un cinquième de la vapeur nécessaire à la cuite qui est employé pour chasser l'air. Ce calcul conduit à la même conclusion que précédemment, car il n'y a pas de machine à vapeur dont la pompe à air consomme les 0,20 du travail.

1238. M. Degrand, dans une brochure qu'il a publiée sur les appareils à cuire les sirops dans le vide, exagère comme M. Roth la dépense de travail de la pompe à air des appareils d'Howard ; il prétend que dans une fabrique de sucre de betteraves, dans laquelle on opère journellement sur 300 hectolitres de jus déféqué, et où l'on évapore journellement 273,000 kilogr. d'eau avec une consommation de 5520 kilogr. de houille, la pompe à air exigerait une machine de 10 chevaux. Mais remarquons que la consommation de houille par heure serait de $5520 : 24 = 230$ kilogr., attendu que le travail a lieu jour et nuit, que cette consommation correspond à une machine de $230 : 5 = 46$ chevaux, et que pour une semblable machine la pompe à air exige au plus le travail de 3 ou 4 chevaux. M. Degrand compte encore en dépense d'eau celle nécessaire à la machine ; mais il est bien évident, comme nous l'avons déjà dit, qu'on peut éviter toute consommation de vapeur et d'eau par la machine motrice.

1239. Les figures 5 et 6 (pl. 55) représentent la disposition d'un système de pompes généralement adopté. L'air et l'eau de condensation arrivent par le tuyau *a*, qui communique avec la partie inférieure des deux corps de pompe A et A′ placés dans une grande caisse en fonte C. Les pistons sont

creux et munis chacun d'un clapet qui se lève de bas en haut. Les plaques de fond des corps de pompe sont également munies de soupapes qui se soulèvent de la même manière. Pendant l'ascension d'un piston il se fait un vide au-dessous de lui, le clapet inférieur se soulève, et l'air ainsi que l'eau sont aspirés dans le cylindre. Pendant la descente, la soupape inférieure se ferme, l'autre se lève pour livrer passage à l'air et à l'eau contenus dans le corps de pompe, et qui se rendent dans la caisse C d'où l'eau s'écoule ensuite par le trop plein D.

Les pistons reçoivent le mouvement du balancier E au moyen de deux tiges qui peuvent osciller en p et q, p' et q', ce qui évite l'emploi de parallélogrammes de Watt. Le balancier E est mis en mouvement par une machine à vapeur dont l'action est transmise par l'intermédiaire d'une bielle et d'une manivelle. Une force de $1\frac{1}{2}$ cheval à deux chevaux suffit pour une paire de pompes ayant les dimensions de celle que représentent les figures, et fonctionnant à 30 ou 35 coups par minute, vitesse qu'on leur donne habituellement. Pour cette vitesse et pour ces dimensions, une paire de pompe dessert un appareil de cuite capable d'évaporer le sirop correspondant à la production de 600 à 700 kilogr. de sucre blanc par heure. Mais il faut dire que le vide est loin d'être parfait, l'élévation du mercure, dans le tube manométrique, varie de 0,55 à 0,60.

Il est important de remarquer qu'on peut réduire presque à rien la dépense réelle de la pompe aspirante dans les appareils d'Howard, en employant de la vapeur à haute pression, une machine à détente sans condensation, et en faisant ensuite passer la vapeur dans une des chambres de condensation de la chaudière, entre les deux fonds ou dans le serpentin.

1240. *Appareil de M. Trappe et de M. Louvrier-Gaspard.* Ces constructeurs ont établi dans une raffinerie de Paris un appareil analogue à celui de M. Roth, mais dans lequel le condenseur a des dimensions beaucoup plus petites et se termine par un tube vertical d'environ 10 mètres de hauteur, dont l'extrémité inférieure plonge dans un vase constamment rempli d'eau et par lequel s'écoule l'eau de condensation. Cet appareil consomme moins de vapeur que celui de M. Roth, mais il exige ou un puits profond, ou que l'appareil soit placé dans les étages supérieurs des bâtiments.

Les chaudières à vide qu'on construit maintenant sont tellement bien faites, que des appareils de 2 mètres de diamètre, à 8 robinets, dont un

de 10 centimètres de diamètre, dans lesquels on a fait le vide, ne renferment après 24 heures que de l'air à une pression d'une demi-atmosphère.

On a renoncé aux doubles fonds, parce qu'ils sont d'un prix trop élevé ; le cuivre ayant à peu près 0,004 d'épaisseur, leur prix ne s'élève pas à moins de 3,000 francs. On préfère augmenter la longueur des serpentins intérieurs.

1241. *Appareil de M. Pelletan.* L'appareil de M. Pelletan est analogue à celui de Roth ; mais l'expulsion de l'air a lieu par un jet de vapeur dirigé de dedans en dehors. La figure 2 (pl. 55) représente une coupe de cet appareil.

A est une chaudière en cuivre à double fond ; E le tuyau qui amène la vapeur produite par le générateur ; R, tuyau de retour d'eau. CC est un tube plongeur qui sert à remplir et à vider la chaudière. Il communique d'un côté avec le tuyau F qui plonge dans le réservoir qui contient le sirop à cuire, et de l'autre avec le tuyau G qui conduit le sirop dans l'empli après sa cuisson. Tous ces tuyaux sont munis de robinets. HH, tuyau partant du sommet de la coupole pour se rendre au bas du condenseur NN. Une partie *hh* de ce tube est en cristal et raccordée par des boîtes à étoupes pour qu'on puisse voir la marche de l'opération. Un robinet permet d'interrompre à volonté la communication de la chaudière avec le condenseur.

NN cylindre vertical destiné à la condensation de la vapeur ; il contient dans son intérieur 12 planchers horizontaux percés de trous, pour l'écoulement de l'eau de condensation ; le premier de ces planchers est plein, mais sa circonférence est écartée d'un demi-pouce de l'intérieur du cylindre ; le suivant touche la paroi du cylindre, mais est percé à son centre d'un trou à bord relevé, de deux pouces de diamètre et ainsi de suite ; par cette disposition, on augmente le nombre des points de contact de la vapeur avec l'eau de condensation.

o robinet à cadran qui règle l'entrée de l'eau de condensation dans la partie supérieure du condenseur. *p* est un tuyau qui part du fond du condenseur et qui descend à 30 pieds, soit qu'on le fasse plonger dans un puits, soit que le condenseur se trouve placé à des étages supérieurs d'un bâtiment ; ce tuyau *p* plonge par son extrémité inférieure dans un vase ouvert qui demeure toujours plein d'eau qui s'oppose à la rentrée de l'air dans le tube. *m* est un manomètre à air libre.

E″ est un embranchement du tuyau à vapeur qui se termine par un ajutage conique *i′* produisant un jet de vapeur dans le canal *i″*, dont le diamètre est double de celui de l'orifice d'injection. L'effet de ce jet est d'entraîner l'air ou la vapeur contenue dans le condenseur et dans la chaudière, et de les projeter dans le tuyau K; en produisant un vide qui, avec de la vapeur à trois atmosphères et demie, et avec le rapport de diamètres indiqué, s'élève à $0^m,50$ de mercure. Le tuyau K conduit la vapeur provenant du jet et celle que le jet appelle, partout où elle peut être employée utilement. Dans l'appareil décrit, la vapeur est envoyée dans le double fond du réservoir Q.

L'embranchement E′ fournit la vapeur à une seconde injection destinée à produire à volonté dans la chaudière la pression nécessaire pour expulser le sirop cuit. Un robinet qui communique avec l'extérieur permet l'accès de l'air que le jet de vapeur pousse dans la chaudière en l'y comprimant.

Voici la marche de l'opération. L'appareil étant vide et tous les robinets fermés, on ouvre les robinets *a* et *b* pour mettre toutes les capacités en communication avec le tube d'injection. On ouvre alors le robinet *l*, le vide commence à s'établir, et pendant qu'il se produit on ouvre le robinet *c* qui laisse monter dans la chaudière le sirop qui doit la remplir. Les deux opérations sont terminées en deux minutes et le vide subsiste à 0,50 de mercure. On ferme alors le robinet *c* et on ouvre le robinet *r*; le sirop s'échauffe et entre bientôt en ébullition; la vapeur qui se forme dans la chaudière chasse l'air qu'elle contenait encore, elle le pousse dans le condenseur, d'où il est expulsé par le jet de vapeur; mais comme ce jet n'est pas calculé pour enlever la totalité de la vapeur que la chaudière peut produire, on ouvre alors le robinet *o* pour fournir une certaine quantité d'eau d'injection qui condense une partie de la vapeur produite par la chaudière, et le robinet se règle de manière que le vide de $0^m,50$ subsiste.

On voit que pendant cette première période de l'opération, la totalité de l'air contenu dans l'appareil en est expulsée, qu'ensuite la plus grande partie de la vapeur produite par la chaudière est également entraînée par le jet de vapeur dans le tuyau K, et qu'une partie seulement de cette vapeur est condensée par de l'eau froide.

La durée de cette première période de l'opération peut être limitée

à deux minutes; elle peut être, au contraire, prolongée jusqu'aux trois quarts de l'opération, c'est-à-dire, jusqu'à l'époque où un vide de $0^m,50$ deviendrait insuffisant.

Lorsqu'il devient nécessaire d'obtenir un vide plus parfait, ou lorsqu'on veut faire cesser la dépense du jet de vapeur, on ferme le robinet *a* et le robinet *l*, et l'on fournit par le robinet *o* toute la quantité d'eau froide nécessaire pour condenser la vapeur; le vide peut alors être porté jusqu'à 0,60 ou 0,70 de mercure, jusqu'à la fin de la cuite.

On voit, d'après cet exposé, que si l'on s'est procuré un emploi utile de la vapeur du jet et de la vapeur du sirop qu'il entraîne, on peut conduire l'opération de manière à n'employer qu'une très-petite quantité d'eau froide pour la condensation; tandis que, si l'on dispose d'une grande quantité d'eau froide, on peut ne faire usage du jet de vapeur que pendant 2 ou 3 minutes environ, c'est-à-dire, pendant un dixième de la durée de l'opération.

Lorsque le sirop est parvenu à son point de cuite, on ferme le robinet *r* pour faire cesser la chauffe; on ferme le robinet *b* pour séparer la chaudière du condenseur et conserver dans celui-ci le vide qui existe. On ouvre le robinet *d* pour laisser rentrer l'air extérieur dans la chaudière; enfin, on ouvre le robinet à vapeur *g*, et il se produit dans la chaudière une pression de $0^m,50$ pouces de mercure. Dans cet état, il suffit d'ouvrir le robinet *e* pour que le sirop s'échappe rapidement par le tuyau CC et se rende dans l'empli.

Pendant l'évacuation du sirop, la chaudière se remplit d'air humide; la couche mince de sirop qui recouvre le cuivre lorsqu'on a vidé les appareils, n'est pas évaporée et desséchée comme cela arrive quand l'air qui rentre dans l'appareil n'est pas chargé de vapeurs, et il ne se forme ni croûtes, ni dépôts.

Malgré les avantages que cet appareil peut présenter, comme il est compliqué et d'un service assez difficile, il n'a pas été adopté par l'industrie.

1242. *Appareil de M. Degrand.* Dans cet appareil, le vide est produit par la vapeur; mais à chaque opération on ne consomme qu'un volume de vapeur peu différent de celui du sirop; et la condensation ayant lieu à travers une enveloppe qui produit l'évaporation du liquide refroidissant, on ne consomme qu'un volume d'eau égal à celui qui est

fourni par le sirop. Les figures 3 et 4 (pl. 55) représentent deux élévations de l'appareil, qui suffisent pour en faire comprendre la disposition.

A est une chaudière en cuivre formée de deux calottes sphéroïdales, exactement close et assez solide pour résister à la pression atmosphérique. Cette chaudière est surmontée d'une capacité B, dans laquelle se rassemblent les vapeurs qui se dégagent du sirop contenu dans la chaudière A. Le sirop est chauffé comme dans les autres appareils du même genre, par de la vapeur qui circule dans le double fond de la chaudière et dans un serpentin; les robinets *f* et *g* règlent l'admission de vapeur; G et I sont les tuyaux de retour d'eau. Le robinet H sert à vider la chaudière quand l'opération est terminée. Pour enlever l'air de l'appareil, on introduit la vapeur dans la chaudière en tournant le robinet *f*, qui sert en même temps à introduire la vapeur dans le serpentin, et on ouvre le robinet *u*. Lorsque l'air a été expulsé, on ferme les robinets *f* et *u*, et on ouvre le robinet *q*; alors le liquide renfermé dans le réservoir supérieur Y commence à s'écouler sur le condenseur V, et le vide se produit. Cette opération terminée, on ouvre le robinet *i*, et la charge de sirop à cuire est aspirée dans la chaudière par les tuyaux MM'; on ouvre ensuite les tuyaux *f* et *g*, qui permettent l'accès de la vapeur dans le double fond et dans le serpentin; l'ébullition se manifeste bientôt. Les vapeurs produites dans la chaudière s'élèvent dans la capacité B, traversent le robinet *h* et passent dans le tuyau U, qui les conduit au condenseur V. Cet appareil est formé d'un serpentin renfermé dans un cylindre en tôle E, ouvert par le haut et par le bas; la vapeur circule dans le serpentin et elle est condensée par l'eau du réservoir Y qui tombe sur sa surface; en ouvrant le robinet *q*, cette eau se rend par le tuyau F' dans le manchon G' fermé par les deux bouts, qui enveloppe le tuyau U, où elle se chauffe; elle passe ensuite par le tuyau H' et par les tuyaux I'I' qui la versent dans un vase annulaire percé d'un grand nombre de petits orifices qui la distribuent sur le serpentin. La portion d'eau qui échappe à l'évaporation est reçue dans le vase annulaire A'A' qui la ramène dans un réservoir inférieur par un tuyau garni du robinet *v*. Lorsque ces appareils sont établis dans des fabriques de sucre indigène, on remplace l'eau par du jus déféqué, qui se concentre en parcourant les spires du serpentin. Le cylindre enveloppant donne à l'air une grande vitesse et accélère beaucoup l'évaporation. L'eau

provenant de la condensation des vapeurs dans l'intérieur du serpentin, se rend dans le vase C, d'où elle s'échappe par le tuyau de décharge D'. On peut l'évacuer à volonté sans laisser rentrer l'air dans l'appareil et sans suspendre le travail de la vaporisation dans la chaudière; pour cela, on ferme le robinet *u*, on met la capacité C en communication avec la chaudière à vapeur, et on ouvre le robinet de décharge *s*; lorsque l'eau est écoulée, on ferme le robinet *s* et on ouvre le robinet *u*. Au-dessous de la chaudière A est un cylindre O destiné à recevoir le sirop cuit, lorsqu'on ouvre le robinet H, le vide y étant fait préalablement par la vapeur. Dans les raffineries où l'on emploie de l'eau pour condenser la vapeur, celle qui sort du serpentin suffit.

On voit, d'après ce qui précède, 1° que s'il n'y avait pas de pertes par les robinets et les ajutages, le vide une fois formé dans l'appareil se maintiendrait indéfiniment, et qu'à chaque opération il suffirait de faire le vide dans le réservoir O et dans le réservoir C, ce qui consommerait un volume de vapeur égal à trois ou quatre fois seulement le volume du sirop avant la cuite; 2° que, dans les raffineries, on ne consommera pas d'eau pour la condensation; 3° que, dans les fabriques de sucre indigène, on pourra employer la condensation de la vapeur à évaporer du sirop déféqué, ce qui doublera à peu près l'effet utile du combustible.

Mais ces résultats ne sont pas complétement confirmés par l'expérience. Il faut de temps en temps faire le vide dans l'appareil, et même on ne peut éviter de le faire dans tout l'appareil à chaque opération, qu'autant que les sirops ne sont pas amenés par la cuite au point de cristallisation; car alors le sirop qui mouille le boisseau du robinet d'écoulement cristallise, et on ne peut plus faire tourner le robinet. Dans les appareils de Roth, on est même obligé de faire passer un peu de vapeur par ce robinet pour le laver. Il paraît que maintenant M. Degrand applique de petites pompes aspirantes à tous ses appareils. A la vérité elles n'exigent, d'après lui, que peu de travail; mais ce travail doit dépendre de l'état des ajustements et de l'usure des robinets.

1243. Il n'y a maintenant que deux systèmes d'évaporation en lutte dans les raffineries et les fabriques de sucre indigène : l'appareil d'Howard ou celui de Roth, dans lequel le condenseur est remplacé par des pompes, et celui de Degrand. En considérant ces appareils dans l'état où ils sont, les appareils de Degrand sont sans contredit préférables sous tous les

rapports. Mais si, dans des appareils d'Howard, la force motrice était fournie par la seule détente de la vapeur dans des machines sans condensation, la dépense de combustible pour une raffinerie serait inférieure à celle d'un appareil de Degrand, et il y aurait moins de chance de chômage, à cause de la plus grande simplicité de l'appareil. A la vérité, il y aurait une grande dépense d'eau; mais on pourrait refroidir rapidement l'eau chaude, de manière à l'employer plusieurs fois, en se servant d'appareils fondés sur le même principe que le condenseur de M. Degrand, principe dont il appartient à tout le monde de faire une autre application, d'abord parce qu'il n'y a pas de brevets pour des principes, ensuite parce que celui-ci a été décrit depuis longtemps. Mais, pour les fabriques de sucre indigène, l'appareil de Degrand conserverait ses avantages, à moins que l'on n'employât d'une manière utile la chaleur de l'eau de condensation, ou à chauffer des étuves, ou à évaporer des jus déféqués, ce qui serait facile à exécuter.

Les appareils de Degrand sont maintenant presque abandonnés dans les raffineries : une ou deux seulement s'en servent; on leur préfère les appareils d'Howard, ou ceux de Roth, dans lesquels le condenseur est remplacé par des pompes à air, et qui sont alors identiques avec ceux d'Howard. Cette préférence est uniquement fondée sur ce que les appareils de Degrand ont une limite de travail, tandis que ceux d'Howard n'en ont pas; car en augmentant la tension de la vapeur et le volume de l'eau d'injection, on peut augmenter indéfiniment le travail. Cette circonstance est d'une très-haute importance pour les raffineurs, qui doivent être plutôt considérés comme des spéculateurs que comme des fabricants, et pour qui il importe de pouvoir faire varier immédiatement, dans les limites très-étendues, les produits de leur fabrication; et c'est en outre le meilleur système, si le travail est produit par la détente seule de la vapeur. Les appareils de Degrand sont, au contraire, très-employés dans les fabriques de sucre indigène; mais on se sert d'un grand et d'un petit : d'un grand pour amener le jus à 27°, et dans lequel on ne fait le vide après chaque opération, que dans le cylindre qui doit recevoir le sirop cuit; d'un petit dans lequel on achève la concentration et où l'on fait le vide à chaque opération. Alors, pour ce dernier, la dépense de vapeur est plus considérable, quoique inférieure encore de beaucoup à celle qu'exige un appareil de Roth.

1244. Les appareils à évaporer dans le vide sont bien compliqués; ils exigent bien des soins dans leur construction et dans leur usage, et ils sont d'un prix très-élevé; car, d'après M. Degrand, pour une fabrique de sucre indigène opérant sur 300 hectolitres de jus déféqué par jour, un appareil de Roth coûterait 56,700 fr. de frais d'établissement, et un appareil de Degrand 35,700 fr., générateurs compris. En outre, dans presque toutes les raffineries où l'on emploie des chaudières de cuite chauffées à la vapeur qui évaporent dans l'air et dans le vide, on a reconnu que ces deux modes d'opération donnent les mêmes résultats, pourvu que la cuisson soit rapide et qu'on opère sur des sirops de bonne qualité, et que les sirops de qualité inférieure sont les seuls dont la cuisson dans le vide présente des avantages bien marqués sur l'ancien système d'évaporation.

1245. Ces considérations devraient engager les fabricants et les raffineurs de sucre à reprendre la question de la concentration des sirops par l'air, à une température un peu inférieure à celle de l'ébullition, car les mauvais résultats qui ont été obtenus par l'appareil de Brame-Chevalier, ne proviennent probablement que de l'incorporation forcée de l'air dans le sirop, par la méthode même employée pour mettre ces deux fluides en contact; peut-être obtiendrait-on de bons résultats en faisant seulement passer de l'air chaud sur le sirop, dont on augmenterait beaucoup l'étendue de la surface. On produirait facilement une concentration aussi rapide qu'on pourrait le désirer, au moyen de dispositions analogues à celles des figures 1, 2 et 3 (pl. 51), mais en chauffant le sirop par la vapeur. Ces essais coûteraient fort peu de chose, et si les expériences réussissaient pour les sirops de qualité inférieure, les appareils seraient si simples, qu'il en résulterait nécessairement un grand avantage.

§ 7. — APPAREILS D'ÉVAPORATION DANS LESQUELS LA CHALEUR EST EMPLOYÉE PLUSIEURS FOIS.

1246. D'après ce que nous avons dit à l'occasion de la distillation, on conçoit facilement que la même chaleur puisse être successivement employée à produire le même effet, et que les appareils de distillation à effets multiples dont nous avons parlé, soient applicables à la concentration des dissolutions. Mais, dans chaque cas particulier, il y a des con-

ditions à remplir, qui quelquefois sont incompatibles avec un emploi réitéré de la vapeur, ou du moins qui limitent beaucoup le nombre des effets qu'on peut produire.

1247. D'abord quand l'évaporation doit avoir lieu dans l'air à la température ordinaire ou à une température inférieure à celle de l'ébullition du liquide, l'évaporation a lieu par le renouvellement de l'air; et, dans ce cas, il serait extrêmement difficile d'employer plusieurs fois la chaleur renfermée dans la vapeur, à cause de la difficulté qu'on rencontre dans la condensation de la vapeur mêlée avec l'air. Mais quand le liquide peut être évaporé dans une chaudière fermée à une température supérieure à celle de son ébullition dans l'air, ou quand l'évaporation peut avoir lieu dans le vide, on peut utiliser plusieurs fois la chaleur dépensée pour la première opération, à la vérité avec des appareils compliqués qui exigent des soins dans leur construction et dans leur usage, mais qui produisent une économie de combustible considérable.

1248. Les figures 1, 2, 3 (pl. 56) représentent, la première, une coupe verticale, les deux autres les projections horizontales des deux étages d'un appareil construit par M. Derosnes pour concentrer le jus de betterave, et dans lequel 1 kilogr. de houille évapore de 9 à 10 kilogr. d'eau. A, B et C sont trois chaudières placées à des hauteurs différentes et chauffées par le même foyer F; le liquide à évaporer est renfermé dans le réservoir D, d'où il s'écoule constamment dans le vase E, et successivement dans les trois chaudières A, B, C, dont il parcourt les fonds en faisant de longs circuits commandés par les nombreuses chicanes dont ces fonds sont garnis; le liquide, après avoir parcouru les trois chaudières, se réunit dans le vase M. Les chaudières sont garnies de couvercles à fermetures hydrauliques, et de tuyaux qui conduisent les vapeurs dans le double fond d'une grande caisse métallique inclinée H. Ces vapeurs, en parcourant le double fond, se condensent, et les eaux de condensation se réunissent dans le vase R. Le réservoir K verse constamment dans le vase L, et celui-ci dans la partie supérieure de la caisse I, le liquide à concentrer, qui, après avoir parcouru les nombreuses sinuosités de la caisse, se rassemble dans le vase S. Ce dernier alimente le vase D, et le vase M le réservoir K. J'ai vu cet appareil fonctionner chez M. Derosnes; on a obtenu 9 kilogr. d'eau par kilogramme de houille.

1249. La figure 4 (pl. 56) représente une disposition qui commence

à être employée pour la concentration des dissolutions de carbonate de soude. L'appareil est composé de trois chaudières A, B, C, placées les unes à la suite des autres et à des hauteurs différentes ; la première est placée à nu au-dessus du foyer ou sur une voûte en briques ; la seconde est garnie d'un couvercle à fermeture hydraulique, et les vapeurs qu'elle produit vont se condenser dans un serpentin plongé dans la troisième chaudière. Chacune d'elles est alimentée par la suivante, au moyen des robinets D et E. Pour une consommation de 20 kilogr. de houille à l'heure, la somme des surfaces de chauffe des chaudières devrait être de $10^{m.c.}$, la grille de 21 décimètres, la section des carneaux de 7 décimèt. carrés. Par cette disposition on augmente au moins d'un tiers l'effet utile. Dans certaines circonstances on pourrait aussi utiliser la vapeur produite dans la première chaudière, du moins pendant une certaine partie du temps de la concentration.

1250. La figure 5 (pl. 56) représente un appareil qu'on pourrait employer pour la concentration des eaux salées. Il se compose 1° d'un générateur qui n'est point indiqué dans le dessin, qui serait alimenté par de l'eau ordinaire, et fournirait de la vapeur à 3 atmosphères, par exemple ; 2° d'un système de 4 chaudières cylindriques verticales, A, A′, A″, A‴, toutes hermétiquement fermées, à l'exception de la dernière, et renfermant chacune un serpentin, B, B′, B″, B‴, en fer, dont les spires seraient très-serrées à la partie supérieure, et très-écartées à la partie inférieure. Le générateur communique avec le serpentin B, la chaudière A avec le serpentin B′, A′ avec B″, et A″ avec B‴; et les tubes de communication sont garnis de soupapes, chargées de poids calculés de manière que la différence de température de l'ébullition d'une chaudière et de la suivante soit constante. Les extrémités des serpentins communiquent avec des tubes D, D′, D″, D‴, qui se prolongent parallèlement dans un tuyau EF destiné à l'alimentation de la chaudière à vapeur ; les tubes aboutissent à une caisse G où ils se terminent par des soupapes dont la charge sera déterminée par expérience.

Les tuyaux I, I′, I″, I‴, terminés intérieurement par des têtes d'arrosoir et branchés sur le tuyau EF, sont destinés à l'alimentation des chaudières A, A′, A″, A‴; pour cela, l'eau salée est poussée dans le tuyau EF par une pompe foulante ; l'alimentation de chaque chaudière se règle à l'inspection des tubes de niveau K, K′, K″, K‴, par le mouvement des ro-

binets dont sont garnis les tubes I, I′, I″, I‴. L'opération se continue jusqu'à ce que le sel remplisse les chaudières à la hauteur des dernières spires serrées des serpentins. On reconnaîtra la hauteur du sel dans les chaudières par des tiges verticales passant à travers des boîtes à étoupe fixées sur la tubulure supérieure des chaudières et terminées par des plaques horizontales. Pour enlever le sel, on supprime l'arrivée de la vapeur dans la chaudière A. L'ébullition cesse dans toutes les autres, et on ferme les robinets d'alimentation. On enlève d'abord le liquide au moyen des robinets L, L′, L″, L‴, qui communiquent avec des tubes qui s'élèvent au centre des chaudières et qui sont percés d'un grand nombre de petits orifices sur toute leur hauteur; lorsque le liquide est écoulé on dévisse les plaques M, M′, M″, M‴, et le sel tombe dans la boîte NP.

Par cette disposition l'ébullition aura lieu, dans le générateur, à 135°; dans la chaudière A, à 128°; dans la chaudière A′, à 121°; dans la chaudière A″, à 114°; et dans la chaudière A‴ ouverte, à 107°, qui est la température de l'ébullition à l'air libre des dissolutions saturées de sel marin. La surface des serpentins à spires serrées devra être calculée en comptant que chaque mètre carré condense au moins 8 kilogr. de vapeur par mètre carré et par heure pour une différence de température de 1°. L'ébullition n'aura évidemment lieu qu'à la partie supérieure des chaudières, et l'eau d'alimentation s'échauffera progressivement en parcourant le tube EF et en s'élevant dans les chaudières.

Dans ce qui précède nous avons supposé que chaque chaudière était garnie d'une soupape qui fixait la température de l'ébullition; mais ces soupapes sont inutiles, et les points d'ébullition des chaudières successives se fixent d'eux-mêmes; car lorsque l'ébullition est établie dans l'une d'elles, la quantité de vapeur qu'elle produit est égale à celle qu'elle reçoit de la chaudière qui précède et à celle qui se forme dans celle qui suit, en négligeant la quantité de chaleur conservée par l'eau de condensation et celle qui est perdue par le refroidissement des vases. Il est évident que, dans l'appareil dont il est ici question, l'effet utile du combustible serait quatre fois plus grand que dans l'évaporation simple, et qu'il pourrait être encore plus considérable si on employait un plus grand nombre de chaudières.

1251. On pourrait augmenter l'effet produit en chargeant le générateur d'eau salée. La figure 6 (pl. 56) représente la disposition qui serait la plus

convenable. La chaudière T renfermant de l'eau salée a un plus grand diamètre à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, et elle est chauffée à la partie supérieure seulement. La fumée passe ensuite autour de la partie supérieure des autres chaudières; toutes sont engagées dans une maçonnerie épaisse, qu'on pourrait remplacer par d'autres dispositions qui s'opposeraient également au refroidissement. Dans cette figure les mêmes lettres désignent les mêmes objets que dans la figure précédente.

1252. Un appareil analogue a été exécuté en Angleterre par John Reynolds, mais il était mal disposé; les surfaces de condensation formaient des tambours en cuivre rouge dont les deux fonds étaient réunis par un grand nombre de tubes de même métal et d'un petit diamètre. L'appareil a bien marché d'abord, mais les tubes se sont bouchés par les cristaux de sel. Cet accident ne serait certainement pas arrivé si l'on avait employé des serpentins. On pourrait d'ailleurs les nettoyer au moyen d'un appareil intérieur facile à imaginer, et mis en mouvement par un axe qui passerait à travers une boîte à étoupe fixée sur la plaque de la tubulure supérieure des chaudières.

Dans la patente de John Reynolds se trouve une disposition particulière pour rendre l'appareil continu; elle est représentée dans la figure 7. Au-dessous de la chaudière A se trouve un réservoir B, où se réunit le sel cristallisé; sa communication avec la chaudière peut être interceptée quand il est rempli de sel; alors on peut en lever le sel qu'il renferme sans interrompre l'opération. La fermeture par une soupape C qu'on manœuvrerait au moyen d'une tige passant à travers une boîte à étoupe, serait le mode le plus simple, mais on pourrait craindre que des cristaux de sels déposés contre le boisseau de la soupape ne s'opposassent à sa fermeture complète; la soupape devrait être garnie d'étoupe.

Tout ce que nous venons de dire sur les chaudières à évaporer les dissolutions de sel marin ne peut être considéré que comme des indications, tous les détails des appareils devraient être étudiés avec beaucoup de soin en ayant égard aux conditions particulières aux différentes localités. Mais il n'est pas douteux qu'on parviendrait facilement, après quelques essais, à réduire au moins à un quart la consommation habituelle de combustible pour le même produit.

1253. C'est surtout dans les fabriques de sucre indigène qu'il serait important de diminuer la dépense de combustible en employant des ap-

pareils disposés de manière à produire plusieurs évaporations avec la même chaleur; car, dans ces établissements, le combustible entre pour une très-grande proportion dans le prix de revient du sucre. On s'en rendra facilement compte en remarquant que le rendement ordinaire du jus de betterave étant de 5 pour cent, il faut évaporer 95 kilogr. d'eau pour obtenir 5 kilogr. de sucre, ce qui fait 19 kilogr. d'eau par kilogr. de sucre; par conséquent, chaque kilogramme de sucre coûte à peu près 4 kilogr. de houille, quand l'évaporation a lieu directement.

1254. Pour l'évaporation de certains sirops on ne pourrait pas employer les appareils à haute pression, à cause de l'altération que le sucre éprouverait à ces hautes températures; il faudrait évaporer sous des pressions inférieures à celles de l'atmosphère, et on arriverait facilement à réduire à un quart ou à un cinquième la dépense de combustible.

La figure 1 (pl. 57) représente une indication de la disposition qu'il faudrait employer. A, A′, A″, sont trois chaudières à cuire dans le vide, renfermant un double fond et un serpentin, et tous les accessoires qui se trouvent dans ces sortes d'appareils. La vapeur produite dans la première se dégage par les tubes B et C, se répartit au moyen des robinets D et E dans le serpentin et le double fond de la seconde; la vapeur de la seconde passe de même dans le serpentin et le double fond de la troisième; enfin celle de cette dernière se condense dans un serpentin exposé à l'air libre comme dans l'appareil de Degrand. F, F′, F″, sont les robinets pour vider les cuites; G, G′, G″, les réservoirs qui les reçoivent et dans lesquels on fait le vide à chaque opération au moyen des robinets H, H′, H″, et I, I′, I″; K, K′, K″, et L, L′, L″, sont les robinets de retour d'eau des doubles fonds et des serpentins; N, N′, N″, les réservoirs d'eau de condensation; P, P′, P″, les tubes d'alimentation des chaudières.

Le vide étant fait dans l'appareil, les chaudières étant chargées de sirop, la vapeur du générateur arrivant dans le double fond et dans le serpentin de la première chaudière, les robinets D, D′, D″ et E, E′, E″ étant ouverts, tous les autres étant fermés, et le sirop froid arrivant sur le serpentin exposé à l'air libre qui se trouve au delà de la chaudière A″, il est évident que chaque chaudière produira la même quantité de vapeur, puisque la vaporisation de chacune d'elles provient de la chaleur dégagée par la condensation des vapeurs fournies par celle qui précède, en négligeant toutefois la chaleur que renferme l'eau de condensation et la

perte de chaleur par le refroidissement des chaudières. Alors, en supposant que toutes les chaudières renferment la même étendue de surface de chauffe, la différence de température de l'ébullition dans les différents chaudières sera constante; ainsi tout dépendra de la température de l'ébullition dans la dernière chaudière A″, et de la température de la vapeur du générateur; si cette dernière température était de 100°, et celle de l'ébullition dans la chaudière A″ de 70°, elle serait de 80° dans la chaudière A′, et de 90° dans la chaudière A. Si on voulait qu'elle ne fût que de 80° dans cette dernière, la température de la vapeur du générateur serait en excès de 20°; et les températures dans les chaudières A′, A″ seraient de 60° et 40°. Mais si les surfaces de chauffe dans les chaudières A′ et A″ étaient deux fois plus grandes que celle de la chaudière A, les températures de A′ et de A″ seraient de 70° et de 50°.

Mais cela suppose que les surfaces de chauffe sont seulement suffisantes dans chaque chaudière, et comme elles sont toujours beaucoup plus grandes dans chacune d'elles, celle qui est utilisée est variable, et les températures du sirop dans les chaudières seront beaucoup plus rapprochées. La température de la première chaudière dépendra à la fois de la tension qui reste dans le serpentin exposé à l'air libre, du volume et de la température de la vapeur qu'on y introduit, de sorte que la température de cette vapeur restant constante en faisant tourner plus ou moins les robinets d'introduction dans le double fond et dans le serpentin, ainsi que le volume de sirop froid qu'on fait tomber sur le serpentin exposé à l'air libre, on pourra obtenir l'effet demandé, et pour la durée de l'opération, et pour la température de l'ébullition dans la première chaudière; quant aux températures dans les autres, il est absolument impossible de les déterminer; ces températures seront décroissantes, et les différences dépendront de l'étendue des surfaces de chauffe et de la température des eaux de condensation; mais cela est sans importance; le point essentiel est de produire un effet donné dans un temps donné, la température du sirop dans la première chaudière étant fixée.

L'expérience seule pourra faire connaître le nombre de chaudières qu'on pourra employer.

Il est bien entendu que l'appareil serait disposé de manière que l'on ne fût obligé de faire le vide dans les chaudières qu'une ou deux fois par jour, mais à chaque opération dans les réservoirs N et G seulement. Comme

la rentrée de l'air a principalement lieu par les robinets, on pourrait les loger dans des boîtes renfermant des liquides visqueux, qui ne passeraient pas comme l'air à travers les petits orifices que laissent les ajustements.

Il y aurait peut-être plus d'avantage à produire et à maintenir le vide par des pompes à air qui communiqueraient avec les réservoirs d'eau de condensation, et qui seraient mises en mouvement par une machine à haute pression et à détente sans condensation, la vapeur étant ensuite employée au chauffage. La force motrice ne coûterait rien, les appareils seraient plus simples, et les rentrées d'air seraient immédiatement réparées; mais chaque chaudière devrait avoir sa pompe.

La question dont il s'agit est d'une extrême importance pour les fabriques de sucre indigène; les résultats déjà obtenus par les appareils de M. Derosnes (fig. 1, pl. 56), et des considérations théoriques irrécusables ne permettent pas de douter qu'on ne réussisse à obtenir une très-grande économie de combustible avec des appareils agissant successivement les uns sur les autres; mais ces appareils devraient être étudiés par l'expérience sur une échelle suffisante.

1255. *Évaporation des liquides, en employant, comme moyen de chauffage, la vapeur qui se dégage, après l'avoir comprimée.* Dans ce qui précède, nous avons indiqué l'emploi de la chaleur de la vapeur pour produire des évaporations successives sous des pressions décroissantes. M. Pelletan a imaginé un autre mode d'évaporation qui consiste à aspirer au moyen d'une pompe la vapeur qui se produit dans une chaudière fermée, et à la comprimer dans un double fond de manière que sa température s'élève de plusieurs degrés; cette vapeur se condense en en produisant de nouvelle dans la chaudière; alors, si l'eau de condensation en s'échappant échangeait sa température avec le liquide d'alimentation de la chaudière, et s'il n'y avait point de perte de chaleur par les parois de la chaudière, il est évident qu'avec la même quantité de chaleur on pourrait évaporer un poids indéfini d'eau au moyen d'une certaine puissance mécanique. Mais comme l'utilisation de l'eau de condensation présenterait trop de difficultés, on doit compter qu'elle serait abandonnée à 100°. Alors la dépense de chaleur pour évaporer 1 kilogr. d'eau serait seulement de 100 unités, au lieu de 650, et avec 1 kilogr. de vapeur partant d'un générateur, on pourrait évaporer

$6^k,5$ d'eau. D'après M. Pelletan, on ne dépenserait que 1 kilogramme de charbon pour évaporer 30, 37, 43 et même 100 kilogrammes d'eau. Mais cela ne serait évidemment possible qu'autant que l'on ne tiendrait pas compte du travail dépensé pour faire mouvoir les pompes, et que l'eau de condensation, du moins pour les derniers chiffres, ne serait pas abondonnée à 100°. M. Pelletan a aussi proposé de produire la dilatation dans la chaudière et la compression de la vapeur dans le double fond, par une injection de vapeur; il paraît même qu'il a complétement abandonné le premier système pour le second. Voici la disposition de l'appareil représenté figures 8 et 9 (pl. 56) : la première est une coupe longitudinale, et la seconde une coupe perpendiculaire à la première.

M, chaudière à fermeture hydraulique dont le couvercle I est équilibré par un contre-poids K. Cette chaudière, destinée à la concentration des jus de betteraves, est chauffée par un double serpentin G placé au fond de la chaudière. A, A, tuyaux d'aspiration des vapeurs formées dans l'appareil. *b*, *b*, jets de vapeur contenus dans les boîtes B, B pour appeler les vapeurs par les tuyaux A,A et les refouler dans le serpentin; D, D, prises de vapeur supplémentaires pour la mise en train; F, F, réservoirs destinés à retenir l'eau entraînée mécaniquement par la vapeur qui arrive du générateur par un tuyau E; H, tuyau de retour de l'eau condensée dans l'appareil de chauffe; LL, soupapes pour l'évacuation des vapeurs; P, appareil pour faire baisser les jus quand ils montent; Q, reniflard; O, robinet de vidange. On voit, d'après cette disposition, que lorsque, par une opération préliminaire, on a purgé d'air la chaudière et qu'on ouvre tous les robinets, le jet de vapeur, en s'échappant par la buse *b*, appelle la vapeur qui se forme dans la partie supérieure de la chaudière, la comprime en la lançant dans le serpentin, et que le chauffage a lieu et par cette vapeur et par celle qui est fournie par le générateur. La chaudière sur laquelle on a fait les expériences que nous allons rapporter avait un mètre de largeur sur $2^m,50$ de longueur.

Dans la première expérience qui a duré une heure, après avoir chauffé à 100° l'eau contenue dans la chaudière M, on a ouvert toutes les communications, à l'exception de celle de la chaudière avec le serpentin; la pression dans le vase F a été maintenue à 5 atmosphères, la pression dans le serpentin à $0^m,84$; on a recueilli l'eau de condensation du serpentin et celle qui provenait de la vapeur non condensée dans cet

espace en la faisant passer à travers un autre serpentin. Pendant toute la durée de cette expérience l'aspiration indiquée par le manomètre a été de $0^m,18$.

La quantité d'eau condensée dans le serpentin et recueillie par le robinet e, a été de 40 litres, et le volume d'eau évaporé, déduit de l'abaissement de niveau pendant la durée de l'expérience, a été de $30^l,75$.

Dans la seconde expérience, on a commencé par expulser l'air de la chaudière et par chauffer l'eau à 100°, en y introduisant directement la vapeur, ensuite on a fait passer la vapeur dans le serpentin, et on a ouvert les robinets a, a ; la pression dans le vase F a été maintenue à 5 atmosphères, et à 0,873 dans le serpentin. La quantité d'eau évaporée dans la chaudière a été de $91^l,9$. En admettant que la quantité de vapeur fournie par le générateur était la même dans les deux expériences, il s'ensuivrait que 40 kilogrammes de vapeur auraient évaporé $91^k,9$ d'eau, et par conséquent 1 kilogramme de vapeur $\frac{91,9}{40} = 2^k,3$, et que le rapport des effets utiles de la même quantité de vapeur, dans ces deux expériences, serait celui de 91,9 à 30,75, c'est-à-dire, 2,99. Ce rapport serait même un peu plus grand, parce que la pression de la vapeur dans le serpentin ayant été plus grande dans la seconde expérience que dans la première, la quantité de vapeur fournie par la buse a été plus petite dans le rapport de $\sqrt{380-87}$ à $\sqrt{380-84}$, c'est-à-dire, dans le rapport de 0,94 à 1. Mais on ne sait pas si la quantité de vapeur non condensée n'était pas plus grande dans la seconde expérience que dans la première, et on ne peut réellement rien conclure de ces expériences. La seule manière de reconnaître l'effet que ce mode d'opération pourrait produire, serait de condenser complétement la vapeur à la sortie du serpentin ; le poids de l'eau qu'on obtiendrait ainsi, ajouté à celui de l'eau écoulée du serpentin, représenterait le poids de la vapeur fournie par le générateur et celui de la vapeur d'eau fournie par le liquide à évaporer, et comme ce dernier poids peut facilement se déduire de l'abaissement du niveau, on trouverait facilement le rapport de la quantité de vapeur employée à celle qui est produite ; jusqu'à ce que l'expérience ait été faite ainsi, on ne peut avoir que des probabilités sur l'efficacité de ce nouveau moyen d'évaporation. Cet avis a été celui de la commission de l'Académie, car

elle n'a pas voulu assister aux expériences dont nous venons de donner les résultats.

1256. On peut aussi utiliser la chaleur qui provient de la condensation des vapeurs pour produire une seconde évaporation, lorsque la température de l'ébullition du second liquide est moins élevée que celle du premier. Il est même des cas dans lesquels cette opération s'exécute avec une extrême facilité. Par exemple, dans les fabriques d'acide acétique, l'acide brut obtenu par la distillation du bois doit être distillé pour être séparé d'une partie du goudron qu'il contient, après quoi il doit être combiné avec la chaux, et la dissolution d'acétate de chaux doit être concentrée jusqu'à un certain point. Or, cette concentration peut être produite par la chaleur qui se dégage de la condensation des vapeurs dans la distillation de l'acide brut, et pour cela, au lieu de conduire les vapeurs dans un serpentin, on les fait arriver dans un lait de chaux, l'acide se combine avec la chaux, et la chaleur qui résulte de la condensation des vapeurs et de la combinaison concentre la dissolution d'acétate de chaux. Ce procédé a été mis en pratique par MM. Thomas et Laurens, et réussit très-bien.

CHAPITRE XII.

SÉCHAGE.

1257. L'opération dont il s'agit maintenant a pour objet, comme son nom l'indique, de dessécher une substance solide, c'est-à-dire, d'évaporer les dernières portions d'eau qu'elle contient. Dans certaines circonstances, cette opération peut avoir lieu par l'air à la température ordinaire, ou à une température plus ou moins élevée; d'autres fois, elle ne peut s'effectuer que par la chaleur seule, et à une température élevée. Quand la dessiccation a lieu à une haute température, elle porte souvent le nom de calcination.

1258. Il faut bien distinguer les séchoirs des étuves. Les séchoirs sont destinés à produire le séchage par un courant d'air froid ou chaud. Les étuves sont des espaces clos dans lesquels l'air est échauffé et ne se renouvelle pas; telles sont les étuves des raffineries où l'on fait cristalliser les sucres de qualités inférieures, les étuves à fermentation, les couvoirs, etc.

1259. Les matières à dessécher peuvent être en masse plus ou moins volumineuse, ou en fragments d'une petite dimension. Dans ces deux cas, les procédés de séchage sont fort différents. Par exemple, si les matières à sécher sont des fils ou des tissus, on pourra facilement, en les suspendant à des perches ou à des cordes, les espacer de manière que l'air puisse facilement circuler, et les dessécher rapidement, soit dans un lieu découvert par l'air libre, soit dans un espace fermé par des courants forcés d'air froid ou chaud; mais si la matière à dessécher était de la poudre ou de l'orge germé, il faudrait ou renouveler souvent les surfaces, ou construire des appareils particuliers pour faire circuler l'air à travers leur masse.

Nous examinerons d'abord le séchage des matières non pulvérulentes, et nous prendrons pour exemple le séchage des tissus. Tous les détails de calcul seront applicables à la dessiccation des fils, du papier, de la colle, etc. Pour chacune de ces matières, les appareils devraient recevoir des dispositions particulières faciles à déterminer, mais qui seraient toujours fondées sur les mêmes principes.

§ 1. — SÉCHAGE A L'AIR LIBRE.

1260. Le séchage à l'air libre consiste uniquement à suspendre les tissus sur des cordes ou des perches, à l'extérieur ou dans des pièces dont l'air se renouvelle facilement; il est de tous les modes de séchage le plus généralement employé, parce qu'il est à la fois le plus simple et le plus économique.

1261. Dans les grandes blanchisseries, on emploie des bâtiments très-élevés, construits en bois et à claire-voie. Cette disposition est avantageuse, parce qu'elle diminue beaucoup la main-d'œuvre qui serait nécessaire, si tous les jours il fallait porter les tissus à l'étendage, et les enlever rapidement lorsqu'il doit pleuvoir.

1262. Ce mode de séchage a cependant un grand inconvénient; il est très-irrégulier, car il dépend de la température de l'air, de son état hygrométrique, et du vent. Dans certaines circonstances, il est extrêmement rapide; dans d'autres, il est très-lent et quelquefois complétement nul. Ainsi, par le séchage à l'air libre, on ne peut pas faire de travaux réguliers et continus, ou bien il faut des séchoirs d'une dimension extrêmement considérable pour y accumuler les tissus, quand le temps n'est pas favorable.

Les seules conditions à remplir dans ce mode de séchage, consistent : 1° à placer le séchoir dans un lieu découvert où l'air circule facilement; 2° à lui donner une grande élévation, parce que l'air est d'autant plus sec et plus agité qu'il est plus éloigné de la surface de la terre; 3° à donner un libre accès à l'air par toutes les faces du bâtiment. Lorsqu'il est dangereux de laisser pénétrer dans les séchoirs l'air saturé d'humidité, par exemple, dans les séchoirs à colle, on place sur les faces du bâtiment de grandes jalousies que l'on ouvre et que l'on ferme à volonté. Ordinairement on couvre les séchoirs d'un toit qui déborde beau-

coup les faces latérales, afin d'abriter les matières qu'il renferme des pluies obliques. Nous ne pouvons pas entrer dans de plus longs détails sur un sujet que nous ne devons considérer que d'une manière générale.

§ 2. — SÉCHAGE A L'AIR CHAUD.

1263. Le séchage par l'air chaud est très-favorable à la régularité du travail, et il est souvent nécessaire lorsque la dessiccation doit se faire rapidement. Ce mode de séchage est évidemment plus cher que celui qui se fait à l'air libre.

1264. Les séchoirs à air chaud, qui portent souvent le nom impropre d'étuves, peuvent se diviser en deux classes: ceux qui reçoivent l'air chauffé extérieurement, et ceux dans lesquels l'air est chauffé intérieurement.

Dans les premiers, le courant est continu; dans les derniers, il est ordinairement intermittent, du moins on ne donne issue à l'air que quand il est complétement saturé. Nous examinerons successivement ces deux classes d'appareils.

1265. *Séchoirs à courants d'air chauffé extérieurement.* Ces séchoirs consistent toujours en une ou plusieurs chambres closes, dans lesquelles sont étendus les tissus, et qui ont deux ouvertures, l'une, par laquelle arrive l'air chaud, l'autre par laquelle l'air saturé d'humidité se dégage dans l'atmosphère.

1266. Les dimensions des différentes parties de l'appareil doivent être calculées de manière à produire l'effet demandé; et les dispositions intérieures doivent être telles, que l'air ne s'échappe que complétement saturé, et se renouvelle dans toute l'étendue du séchoir.

1267. *Calcul du volume d'air chaud et de la dépense de combustible.* L'appareil devant toujours être construit de manière à produire l'effet demandé dans toutes les circonstances possibles, il faut toujours établir les calculs pour le cas le plus défavorable; ainsi, dans chaque localité, il faudra supposer l'air extérieur à une température supérieure à la moyenne de l'année, et complétement saturé de vapeur d'eau. C'est un cas extrême qui ne se présentera peut-être jamais; mais tout étant disposé pour produire l'effet demandé dans le cas le plus défavorable, on pourra facilement l'obtenir dans toutes les autres circonstances.

Pour le nord de la France, on peut supposer l'air à 15° et complétement saturé.

1268. Le volume d'air chaud à faire passer dans un temps donné à travers le séchoir, et la température à laquelle il doit être porté à son entrée dans le séchoir, dépendent encore de deux éléments qui doivent être déterminés d'avance : 1° la quantité d'eau à évaporer par heure ; 2° la température de l'air chaud saturé à sa sortie du séchoir.

1269. La quantité d'eau à évaporer par heure se déduira de la quantité de matières que l'on veut sécher dans un temps donné. Par exemple, si on voulait sécher par jour 100 pièces de calicot, comme chaque pièce de 24 mètres de longueur renferme encore $2^k,50^o$ d'eau au sortir de la presse, il faudrait évaporer par jour $100 \times 2,5 = 250$ kilogrammes d'eau.

Voici, d'après Tredgold, les quantités d'eau absorbées par différentes substances : ces matières ont été pesées sèches, et ensuite après avoir été trempées dans l'eau et tordues.

	Poids sec.	Poids mouillé.
Flanelle	1	3
Calicot	1	$2\frac{1}{8}$
Soie	1	$1\frac{29}{30}$
Toile de lin	1	$1\frac{3}{4}$
Toile à voile	1	$1\frac{3}{4}$
Papier	1	$1\frac{2}{7}$
Papier à dessin	1	$1\frac{12}{50}$

Ces nombres ne doivent être considérés que comme des approximations ; dans chaque cas particulier il sera nécessaire de déterminer par des expériences directes la quantité d'eau que renferment les substances sur lesquelles on veut opérer.

1270. Quant à la température de l'air au sortir du séchoir, il est toujours avantageux, comme nous allons le voir, qu'elle soit très-élevée. Cependant il est des circonstances qui exigent qu'elle le soit peu. C'est à l'expérience à décider, dans chaque cas particulier, quelle est la température la plus convenable.

1271. Pour reconnaître quelle est la température de l'air chaud la plus avantageuse sous le rapport de l'économie du combustible, j'ai calculé la quantité d'eau évaporée par 1 kilog. de houille employé à chauf-

fer de l'air à différentes températures en supposant qu'il se sature ensuite complétement de vapeur d'eau.

Je vais rapporter les calculs pour la température de 10° de l'air saturé, en supposant l'air extérieur sec et à 0°.

L'air sortant saturé à 10°, chaque mètre cube, sous la pression de $0^m,76$, contient $0^k,0095$ de vapeur (50) dont la force élastique est de $0^m,009$. Le nombre d'unités de chaleur nécessaires à la vaporisation de l'eau contenue dans 1 mètre cube, sera $0,0095 \times 650 = 6,17$. Le poids de 1 mètre cube d'air sec à 10° étant $1^k,3 : (1+0,00365 \times 10) = 1^k,25$, le poids de l'air sec à 10° qui se trouve dans 1 mètre cube d'air saturé sous la pression de $0^m,76$, sera $1^k,25 \times 0,751 : 0,76 = 1,23$. La température de l'air avant la saturation est évidemment $10+6,17 \times 4 : 1,23 = 30°$. En admettant que, dans le calorifère, 1 kilogr. de houille produise un effet utile égal à 6000 unités de chaleur, 1 kilog. de houille pourrait élever 1 kilog. d'air à $6000 \times 4 = 24000°$, et $24000 : 30 = 800$ kilog. d'air, ou $800 : 1,23 = 650$ mètres cubes d'air de 0° à 30°; or, comme chaque mètre cube d'air saturé renferme $1^k,23$ d'air sec et $0^k,009$ de vapeur, il s'ensuit que chaque kilogramme de houille pourra évaporer $650 \times 0,009 = 5^k,85$ d'eau.

Par des calculs semblables, on trouve que l'effet utile de 1 kilog. de houille employée au séchage par l'air à différentes températures, correspond aux nombres suivants :

A 30°	6^k, 31.
40°	6^k, 80.
50°	7^k, 12.
60°	7^k, 76.
70°	8^k, 19.
80°	8^k, 43.

1272. Ainsi, comme nous l'avons annoncé, l'effet utile du combustible employé au séchage par l'air chaud augmente avec la température de l'air à la sortie du séchoir; c'est ce qui résulte nécessairement de ce que la capacité de saturation de l'air chaud croît beaucoup plus rapidement que sa température.

1273. Les calculs précédents supposent l'air à zéro et parfaitement sec : ils ont été faits principalement pour faire voir qu'il est avantageux d'employer l'air chaud à une température élevée. Il nous reste à faire

connaître la manière de calculer le volume d'air chaud, sa température à l'entrée du séchoir et la dépense de combustible dans le cas où l'air extérieur n'est pas à zéro et se trouve déjà chargé d'humidité.

1274. Pour fixer les idées, nous prendrons un exemple particulier : nous supposerons qu'il s'agisse d'évaporer 25 kilog. d'eau par heure, et que la température de l'air saturé à la sortie du séchoir soit de 30°, l'air extérieur étant à 15° et saturé.

Nous avons vu que 1 mètre cube d'air sec à 30° peut dissoudre à peu près 28 grammes d'eau (50), à la pression de $0^m,76$. Ainsi, pour dissoudre 25 kilog. de vapeur d'eau, il faudra $25000 : 28 = 893$ mètres cubes, et comme nous supposons l'air extérieur saturé à 15°, chaque mètre cube en contenait déjà 13 ; en négligeant la dilatation de l'air de 15 à 30°, le volume d'air à 30 degrés nécessaire pour enlever les 25 kilog. d'eau en vapeur sera $893 \times 28 : (28 - 13) = 1660$.

Ce volume réduit à 0°, $= 1660 : (1 + 0,00365 \times 30) = 1500$, dont le poids $= 1500 \times 1^k,3 = 1950$ kilog.

La quantité de chaleur fournie par l'air chaud en arrivant dans le séchoir pour se refroidir à 30°, doit produire l'évaporation de 25 kilog. d'eau ; par conséquent cette quantité de chaleur $= 25^k \times 650 = 16250$ unités de chaleur, qui peuvent élever 1950 kilog. d'air, d'un nombre de degrés égal à $\frac{16250 \times 4}{1950} = 33°,33$ ou à peu près 34°. Ainsi la température de l'air chaud, en entrant dans le séchoir, devra être de $30 + 34 = 64°$.

1275. Quant à la quantité de chaleur que l'on doit faire passer dans l'air avant son introduction dans le séchoir, on peut la calculer de deux manières : 1° d'après la température de l'air à l'entrée dans le séchoir : elle est $1950 \times (64 - 15) : 4 = 23887$; 2° d'après la température de l'air à sa sortie du séchoir, et le poids de l'eau vaporisée : dans ce dernier cas, elle est égale à $1950 \times 15 : 4 + 25 \times 650 = 23562$. La différence provient de ce que le nombre 64 est un peu trop grand, parce que j'ai voulu éviter les fractions.

1276. Il est facile, d'après cela, de déduire la quantité de combustible qu'il faut consommer par heure, puisqu'on doit faire passer dans l'air à peu près 24000 unités de chaleur. Si l'air chaud est celui qui a alimenté la combustion, on obtiendra la quantité de combustible nécessaire en divisant 24000 par la puissance calorifique d'un kilogramme de com-

bustible; et, dans le cas contraire, il faudra prendre les 0,80 de cette quantité, car le chauffage indirect de l'air fait perdre ordinairement 0,20 de la chaleur dégagée dans le foyer.

1277. *Détermination de la section de la cheminée d'écoulement de l'air saturé de vapeur.* Cette détermination ne peut pas s'effectuer exactement, car il faudrait faire intervenir les frottements de l'air dans les canaux formés par les corps humides, et ces frottements dépendent non-seulement de la forme des canaux, mais encore du coefficient de frottement de l'air contre les surfaces humides, coefficient inconnu. D'ailleurs ces frottements varient nécessairement et avec la disposition des corps dans le séchoir, et avec les progrès du séchage. Enfin il peut arriver que l'air, à sa sortie du séchoir, soit chargé de vapeurs à l'état vésiculaire, et par conséquent que sa densité soit plus grande que celle de l'air seulement saturé. Cependant comme, en général, la vitesse de l'air dans les séchoirs est très-petite, on peut obtenir, dans un grand nombre de cas, une approximation suffisante de la section de la cheminée d'évaporation, en négligeant les frottements de l'air dans le séchoir et dans le calorifère, résistances qu'on peut regarder comme compensées au moins par la force ascensionnelle de l'air chaud ou dans le calorifère, ou du calorifère au séchoir, et en considérant le mouvement comme produit par la force ascensionnelle de l'air dans la cheminée, air qu'on supposera sec, la diminution de densité due à la présence de la vapeur d'eau étant supposée compensée par la vapeur à l'état vésiculaire. Le diamètre de la cheminée sera alors donné par la formule (1) (404), dans laquelle on fera $R=0$, et $L=H$, et par la formule $A=vD^2$, qui donnent

$$D^5=\frac{A^2(D+0{,}05H)}{2gP},$$

équation dont on déterminera la valeur de D par approximation, comme nous l'avons indiqué (406).

1278. Par exemple, dans le cas particulier que nous avons examiné précédemment (1274), en supposant $H=15^m$, on a $A=1660:3600=0{,}46$; et $2gP=19{,}62\times15\times0{,}00365\times30=32{,}07$, la formule précédente devient

$$D^5=\frac{0{,}21}{32{,}07}(D+0{,}75)=0{,}0065(D+0{,}75),$$

et on trouve $D=0{,}36$, et, pour la section de la cheminée, à peu près

0m,13. Il serait utile de donner à la cheminée une plus grande section, et de garnir son extrémité d'un appareil destiné à préserver le tirage de l'influence des vents.

Le mode de calcul que nous venons d'indiquer suppose nécessairement que la vitesse de l'air dans le séchoir est très-petite. S'il n'en était pas ainsi, il serait impossible de déterminer même approximativement la section de la cheminée ; il faudrait alors calculer une section minimum, en négligeant les frottements dans le séchoir, et prendre une section beaucoup plus grande, sauf à régler le tirage par un registre.

Si la vitesse de l'air dans le séchoir était très-petite, mais si la force ascensionnelle de l'air dans le calorifère était très-grande, la section de la cheminée d'appel calculée comme nous l'avons dit, serait évidemment trop grande ; mais on obvierait à son excès de tirage par l'abaissement du registre.

Au surplus, il faut bien remarquer que l'effet à produire dans un temps donné dans les séchoirs est une condition qui n'est jamais bien rigoureuse, et qu'une section un peu trop petite de la cheminée d'appel n'aurait d'autre influence que de diminuer le travail produit. Cependant, s'il était important d'atteindre une certaine limite d'effet, et même de l'augmenter dans certains cas, il serait bon de multiplier les cheminées d'appel et d'en faire fonctionner le nombre convenable.

1279. Examinons maintenant les dispositions les plus convenables de l'appareil à chauffer l'air du séchoir proprement dit et de la cheminée d'appel.

L'appareil destiné à chauffer l'air varie beaucoup dans sa disposition, suivant que l'on fait passer dans le séchoir l'air qui a servi à la combustion, ou de l'air qui a reçu par transmission une partie de la chaleur développée dans le foyer.

Dans le premier cas, l'appareil se compose seulement d'un foyer, et il faut employer des houilles sèches qui ne produisent pas de fumée, du coke ou du charbon de bois. A la rigueur on pourrait employer un combustible quelconque, si on pouvait parvenir à brûler complétement la fumée ; mais, comme nous l'avons vu, tous les appareils qu'on a imaginés jusqu'ici ne la font pas disparaître complétement, et les inconvénients de la fumée dans un séchoir sont trop grands et pourraient occasionner des pertes trop considérables, pour que l'on pût employer

des foyers fumivores dont l'effet dépend toujours de l'ouvrier qui dirige le feu. L'emploi de l'air brûlé, même entièrement dépouillé de fumée, présente d'ailleurs de grands inconvénients qui en restreignent l'emploi à un très-petit nombre de cas. Une partie des cendres est entraînée sur les objets à sécher, et la nature de l'air qui remplit le séchoir ne permet pas aux ouvriers de s'y introduire.

L'air est ordinairement échauffé sans qu'on lui fasse subir aucune altération, et on emploie pour cela des calorifères à air chaud, à vapeur, ou à eau chaude, sur lesquels nous donnerons dans le chapitre suivant tous les détails nécessaires.

1280. *Dispositions du séchoir.* Examinons maintenant les dispositions du séchoir. Le séchoir est une vaste chambre, n'ayant d'autres issues que les ouvertures par lesquelles arrive le courant d'air chaud, et celles qui laissent écouler dans l'atmosphère l'air saturé d'humidité. Il doit cependant avoir des portes pour le passage des ouvriers et l'introduction des matières à dessécher, et des fenêtres pour éclairer le travail qu'on y fait à la fin de chaque opération; mais ces ouvertures doivent être peu nombreuses, et fermées pendant le séchage. Les parois de la chambre doivent être en matière peu conductrice de la chaleur, afin que le refroidissement occasionné par l'air soit le plus petit possible. Les murs peuvent être en maçonnerie ordinaire, ou en bois et en plâtre.

1281. L'étendue du séchoir doit être suffisante pour que l'air à sa sortie soit complétement saturé; des dimensions plus considérables n'augmenteraient pas le travail, seulement on pourrait mettre plus de matières dans le séchoir, mais chaque opération serait plus longue.

1282. La disposition des objets à sécher, et le mode de distribution de l'air chaud, ont plus d'influence sur la saturation de l'air que les dimensions mêmes du séchoir; car la saturation de l'air dépend uniquement de l'étendue des surfaces humides qu'il est obligé de parcourir avant de sortir. Un très-grand séchoir dans lequel les matières humides seraient mal disposées, pourrait laisser échapper de l'air très-chaud et peu saturé, tandis qu'un séchoir beaucoup plus petit, où l'air serait obligé de circuler sur une grande étendue de surfaces humides, ne laisserait dégager que de l'air complétement saturé.

1283. Nous avons dit précédemment que les séchoirs à air libre doivent avoir une grande élévation, attendu que l'air est souvent plus

agité à une certaine hauteur qu'à la surface même du sol, et qu'il y est toujours plus sec. Il n'en est point ainsi des séchoirs à courants d'air chaud, car leur élévation ne peut avoir aucune influence sur l'effet produit; une hauteur de $2^{m},50$ à 3 mètres suffit, et c'est la dimension la plus commode pour le travail.

1284. Les conditions les plus importantes à remplir sont : 1° de ne faire sortir du séchoir que de l'air complétement saturé; 2° de ne pas laisser séjourner dans certaines parties du séchoir de l'air sur-saturé; car, si la première condition n'était pas remplie, il y aurait beaucoup de perte de chaleur, et la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir empêcherait la dessiccation des matières qui y seraient placées, et même, dans certaines circonstances, pourrait nuire à leur qualité. Pour satisfaire à ces deux conditions, il faut que la matière à sécher présente une surface uniformément distribuée dans toute l'étendue du séchoir, et que les ouvertures d'accès et de sortie de l'air chaud soient convenablement placées.

1285. Ordinairement on fait arriver l'air chaud par le bas du séchoir, et on le fait sortir par le haut; cette disposition du tuyau d'écoulement est très-vicieuse, parce que l'air chaud, à son entrée dans le séchoir, étant à une température plus élevée que celui qui s'y trouve, gagne rapidement, et sans s'étendre beaucoup, le haut du séchoir, d'où il est de suite porté à l'extérieur avant d'être saturé; et si les orifices d'entrée de l'air chaud ne sont pas très-multipliés et uniformément répartis sur le sol, certaines parties de l'air du séchoir restent immobiles, se refroidissent, et laissent précipiter de la vapeur sous la forme de vésicules qui le rendent plus pesant que l'air seulement saturé à la même température. Ainsi, dans ce cas, l'air chaud qui arrive dans le séchoir gagne par le plus court chemin le canal de sortie, s'échappe sans être saturé, et l'air qui n'est point dans cette direction se sur-sature, devient plus pesant que l'air atmosphérique et reste en place. Ces inconvénients peuvent être complétement évités en faisant sortir les vapeurs du séchoir par des ouvertures pratiquées au niveau du sol, et communiquant avec des cheminées suffisamment élevées.

J'ai eu plusieurs fois l'occasion de reconnaître la grande différence qui existe entre les effets produits par des séchoirs dans lesquels le canal d'évacuation des vapeurs est placé à la partie supérieure ou à

la partie inférieure. En 1822, M. Ternaux a constaté ce fait dans un séchoir qu'il avait fait construire à Saint-Ouen pour dessécher des vermicelles de pomme de terre. Le séchoir était établi au premier étage dans une chambre de 180 mètres cubes de capacité, et échauffée à 30 ou 40 degrés par un calorifère de Désarnod placé au rez-de-chaussée. Ce séchoir avait primitivement des ouvertures pratiquées à la partie supérieure; M. Ternaux ayant reconnu que la dessiccation s'opérait trop lentement, remplaça les premières issues par neuf nouvelles pratiquées au niveau du carrelage, et communiquant avec des canaux qui s'élevaient au-dessus des toits; il obtint les résultats suivants, qui sont des termes moyens de cinq expériences :

SORTIE DONNÉE AUX VAPEURS.	VERMICELLE OBTENU.		
	1re QUALITÉ.	2e QUALITÉ.	FERMENTÉ.
Par le bas.....	247k,040	18,01	2,04
Par le haut.....	144,075	65,17	39,04

et la consommation de combustible a toujours été beaucoup plus grande dans le second cas que dans le premier.

Ainsi nous admettrons comme une condition d'une grande importance, que l'issue des vapeurs soit toujours pratiquée au niveau du sol du séchoir. Cette circonstance, qui s'oppose à la stagnation de l'air dans certaines parties du séchoir, est en même temps très-favorable à la saturation de l'air chaud; car l'air chaud se meut rapidement quand il s'élève dans un milieu plus dense, et il chemine lentement et se distribue uniformément quand il marche de haut en bas.

1286. La distribution de l'air chaud dans le séchoir, et la disposition des objets à sécher, peuvent se faire d'un grand nombre de manières différentes, qui dépendent principalement de la nature des substances à sécher.

1287. Supposons, par exemple, que les substances à sécher soient des fils de coton, de lin ou de chanvre en écheveaux, ou des objets de bonneterie; le séchoir devrait être étroit et très-allongé, ces objets se-

raient suspendus à des cordes ou des châssis placés perpendiculairement à la longueur de la chambre, l'air chaud devrait être distribué par plusieurs ouvertures pratiquées sur une des petites faces de la chambre, et la cheminée, placée à l'autre extrémité, s'ouvrirait près de la surface du sol.

1288. On voit que, par cet arrangement, l'air parcourra toute la longueur de la chambre en passant à travers un grand nombre de surfaces humides très-rapprochées, et qu'au commencement du séchage il arrivera nécessairement saturé à l'orifice de la cheminée; mais lorsque la dessiccation aura fait des progrès, l'évaporation de l'eau se fera plus difficilement, et on atteindra nécessairement une époque à laquelle la dessiccation ne sera pas complète, et où l'air s'échappera sans être saturé.

1289. On peut obvier à cet inconvénient, qui occasionnerait une grande perte de chaleur, par une disposition très-simple. Si l'on remarque que l'air chaud chemine dans le sens de la longueur de la chambre, on verra que les progrès de la dessiccation ne seront pas uniformes, et que les matières placées vers le côté de la chambre où arrive l'air chaud seront séchées les premières; ainsi, non-seulement, à mesure que l'opération fait des progrès, la dessiccation devient plus difficile, mais l'étendue des surfaces humides que l'air traverse va en diminuant; ces deux causes se réunissent pour s'opposer à la saturation complète de l'air. Mais si, quand la dessiccation est complétement terminée sur la première moitié du séchoir, on enlève ces matières pour les remplacer par de nouvelles matières humides, et si on fait en même temps arriver le courant d'air chaud en sens contraire, les matières qui avaient éprouvé un commencement de dessiccation se dessécheront plus vite que si rien n'avait été changé, et l'air chaud pourra se saturer complétement en passant à travers les nouvelles surfaces humides. Il est facile de remplir ces deux conditions en construisant aux deux extrémités de la chambre des cheminées que l'on pourrait ouvrir ou fermer à volonté, et en conduisant l'air chaud à chaque extrémité par des tuyaux qui pourraient de même rester ouverts ou fermés; pour éviter une perte trop grande de chaleur, on ferait passer le tuyau dans l'intérieur du séchoir.

1290. Si les matières à sécher avaient une très-grande étendue, comme, par exemple, des tissus, on ne pourrait pas les placer perpen-

diculairement à la direction du courant d'air, la circulation de l'air se ferait mal. Il faudrait alors disposer les barres de suspension dans le sens de la longueur de la chambre, et placer les pièces de manière à ce qu'elles fissent plusieurs circuits; toutes les autres dispositions resteraient les mêmes.

1291. *Dispositions des cheminées d'évaporation.* Ces cheminées peuvent être en planches, ou en plâtre, ou en maçonnerie légère. Il est toujours avantageux d'en avoir plusieurs pour rendre le mouvement de l'air plus uniforme dans toute l'étendue du séchoir. Nous avons vu qu'il faut toujours les faire partir du sol du séchoir.

1292. Le tirage étant toujours extrêmement faible est très-sujet à être contrarié par les vents. On obvie en partie à cet inconvénient en donnant beaucoup de largeur à la cheminée et en la rétrécissant par le sommet; la vitesse de sortie est alors beaucoup augmentée, et quand le diamètre de la cheminée est trois ou quatre fois plus grand que celui de l'orifice d'écoulement, on peut presque la considérer comme égale à la vitesse théorique. Cette disposition s'effectue d'autant plus facilement que l'on multiplie davantage le nombre des cheminées, parce qu'alors chacune d'elles n'a qu'un petit diamètre.

1293. Mais cela n'est pas encore suffisant; il faut toujours garnir les sommets des cheminées de chapeaux qui s'opposent à l'action du vent, ou mieux encore d'appareils tournants qui utilisent la force du vent et le font concourir à augmenter le tirage.

1294. On peut activer le tirage du séchoir en faisant entrer dans la cheminée d'air chaud la fumée du foyer; cette disposition serait très-facile à exécuter quand le séchoir n'a qu'une seule cheminée, mais elle serait un peu compliquée quand il y en a plusieurs. On aurait d'ailleurs à craindre de graves accidents, car le tirage serait encore faible relativement à certains vents, et il pourrait arriver que la fumée fût refoulée dans le séchoir. Cette disposition serait donc très-dangereuse, lorsque les matières à sécher sont altérables par la fumée. On pourrait cependant utiliser une partie de la chaleur de la fumée pour augmenter le tirage, en construisant en tôle la cheminée du foyer et la plaçant dans celle du séchoir, ou par toute autre disposition analogue.

1295. *Chauffage intérieur.* Dans ce qui précède, nous avons toujours supposé que l'air était échauffé avant d'être admis dans le séchoir. Mais on peut aussi chauffer l'air dans le séchoir lui-même. Cette méthode

me paraît moins bonne que la précédente, lorsque la ventilation est continue, parce qu'il est difficile que la chaleur se distribue uniformément, à moins que l'on ne fasse arriver l'air froid, d'abord autour des tuyaux à vapeur ou à air chaud, au moyen d'un canal qui les enveloppe; mais cette disposition serait trop compliquée.

1296. Le chauffage intérieur de l'air des séchoirs, sans ventilation continue, est très-fréquemment employé. Il s'effectue alors soit par des tuyaux à vapeur, soit par des conduits à fumée libres. Les tuyaux de chaleur qui circulent autour du séchoir sont à une petite distance du sol, et le séchoir n'a point de cheminée, ni d'ouverture pour l'introduction de l'air. D'abord on ferme exactement les croisées, et quand on s'aperçoit que l'air est saturé, par la vapeur qui se condense contre les vitres, on les ouvre, l'air saturé sort et se trouve bientôt remplacé par de l'air neuf. Alors on ferme les fenêtres pour les ouvrir de nouveau quand on reconnaît, au même caractère, que l'air est saturé. Ainsi, dans cette méthode, la ventilation est intermittente.

Cette méthode est évidemment préférable à la ventilation continue, lorsque l'on chauffe intérieurement la chambre et que l'air froid ne s'échauffe pas en passant immédiatement sur les tuyaux de chaleur; dans le cas contraire elle est moins avantageuse sous le rapport de l'économie du combustible. En effet, quand on renouvelle l'air chaud saturé, l'air froid qui pénètre dans la chambre doit condenser une partie des vapeurs qui retombent sur les matières qui les avaient fournies; pendant le renouvellement de l'air, une partie de celui qui a pénétré doit s'échapper après s'être échauffé, et sans être saturé; et enfin la dessiccation ne se faisant pas méthodiquement, il est impossible de dessécher complétement les matières sans laisser échapper, à la fin de l'opération, beaucoup d'air non saturé.

1297. Cependant, comme cette méthode est très-simple, qu'elle n'a point l'inconvénient des appareils à air chauffés extérieurement et à ventilation continue, d'exiger certaines précautions pour que le tirage ne soit pas influencé par les vents, elle est souvent employée, surtout avec des calorifères à vapeur, qui ne permettent jamais à l'air d'atteindre une température supérieure à 100°.

1298. On n'a eu longtemps que des idées très-fausses sur le séchage par la chaleur. On se figurait que la chaleur seule suffisait, et que le renouvellement de l'air était inutile. D'après cela les séchoirs étaient

exactement fermés, et on les échauffait par des tuyaux métalliques, dans lesquels on faisait circuler de l'air chaud ou de la vapeur. Alors il fallait des séchoirs d'une grande capacité, et on devait élever beaucoup la température de l'air pour qu'il pût tenir en dissolution toute la vapeur formée par l'eau qui mouillait les matières à dessécher; et d'ailleurs quand la température que devait atteindre l'air était limitée, une fois que l'air était saturé et que sa température devenait constante, l'évaporation cessait complétement, et les matières pouvaient rester indifféremment dans le même état.

Il paraît que dans plusieurs ateliers la ventilation ayant été établie par un accident tel que la rupture d'une vitre, on reconnut que la dessiccation était plus prompte, et qu'il était avantageux d'avoir une ventilation continue ou seulement intermittente.

1299. Les étuves des raffineries de sucre, qui ont pour objet de dessécher les pains, sont encore disposées d'une manière très-défectueuse, non-seulement sous le rapport de l'économie du combustible et de la ventilation, mais encore sous celui des chances d'incendie.

1300. Les étuves à sucre sont ordinairement des pièces carrées ayant une grande hauteur, et garnies dans toute leur étendue d'étagères à claire-voie sur lesquelles les pains de sucre sont placés en sortant des formes. A la partie inférieure se trouve un foyer surmonté d'un dôme en fonte; l'ouverture du foyer est en dehors ainsi que la cheminée, qui est ordinairement en briques; le dôme en fonte, qui n'a jamais qu'une petite étendue, rougit, et échauffe l'air du séchoir. On conçoit d'après cette disposition qu'il doit y avoir une énorme quantité de chaleur perdue, parce que la surface de chauffe est souvent dix fois plus petite que celle qui serait nécessaire; aussi l'air qui se dégage du foyer est à une température très-élevée. Si on construisait la cheminée en fonte et si on la plaçait dans l'intérieur du séchoir, on obtiendrait beaucoup plus d'effet; mais dans la plupart des raffineries que j'ai visitées, les cheminées sont en briques et à l'extérieur, comme si l'on craignait de profiter de la chaleur de la fumée. De plus on a soin de fermer toutes les issues inférieures, et la ventilation n'a lieu que par les joints des portes, et presque malgré le fabricant.

Cette disposition est en outre très-dangereuse, parce que la chute d'un pain sur la pièce de fonte incandescente peut occasionner l'incendie

de l'établissement; c'est ce qui est arrivé plusieurs fois. A la vérité, dans quelques raffineries, on couvre par une voûte en briques la chaudière de fonte renversée qui répand la chaleur dans l'étuve; mais alors on empêche l'air de circuler librement sur la surface de chauffe, et on diminue beaucoup son rayonnement.

On évite complétement ces accidents et on économise beaucoup de temps et de combustible, en échauffant l'air extérieurement par des calorifères à air ou à vapeur, ou en le chauffant intérieurement par la vapeur, comme on commence à le faire dans quelques raffineries.

1301. Après avoir ainsi examiné les principes d'après lesquels toutes les parties des séchoirs doivent être combinées, nous donnerons quelques exemples des dispositions les plus convenables ou le plus fréquemment employées.

La figure 2 (pl. 57) représente un séchoir employé dans les fabriques de toiles peintes. Ce séchoir consiste en une tour carrée assez élevée, et terminée supérieurement par une galerie en saillie; lorsque le temps est favorable, les étoffes sont suspendues à l'air libre au moyen de la galerie, et dans les temps pluvieux et humides elles sont séchées intérieurement par des courants d'air chaud dirigés de bas en haut. Cette disposition est peu convenable, du moins pour le séchage intérieur; car, comme nous l'avons déjà dit, une grande partie de l'air chaud doit se dégager à la partie supérieure sans être saturé.

Les séchoirs dont il est ici question sont très-répandus en Alsace. Voici les résultats de plusieurs expériences faites à Mulhausen, en 1839, qui feront voir le peu d'effet utile qu'on obtient dans ces appareils :

D'après deux expériences faites par M. Penot sur deux séchoirs différents, on a obtenu dans l'un $1^{k},36$ de vapeur d'eau par kilogramme de houille, et dans l'autre seulement $1^{k},02$. Dans ce dernier, les murs étaient minces et percés d'un grand nombre de fenêtres, et la température n'a pas pu être portée au delà de 30°.

D'autres expériences faites par le même physicien, en fermant les soupiraux qui se trouvent à la partie supérieure du séchoir, ont donné les résultats suivants :

Le premier séchoir avait 2983 mètres de capacité et une hauteur de $9^{m},6$; il était garni de trois soupiraux ayant chacun $1^{m},6$ de surface. A 1 heure, on introduisit dans le séchoir des toiles qui renfermaient 1050

kilog. d'eau; de 1 heure à 5 heures $\frac{3}{4}$, la température intérieure a augmenté progressivement de 23° à 60°, et l'hygromètre a constamment diminué de 75° à 30°. Pour obtenir une dessiccation complète des toiles, on a brûlé 625 kilog. de houille; ainsi 1 kilog. de houille a évaporé $1^k,68$ d'eau. Le séchoir n'était pas complétement fermé. Une autre expérience faite dans des conditions plus favorables, a donné $2^k,86$.

Dans toutes ces expériences, les opérations n'ont cessé que quand les toiles ont été toutes parfaitement sèches. Mais en opérant d'une manière continue, c'est-à-dire en enlevant successivement les toiles sèches pour les remplacer par des toiles humides, on obtient de meilleurs résultats.

D'après M. Royer, dans un étendage ayant $9^m,68$ de longueur, $8^m,2$ de largeur, $19^m,28$ de hauteur, dont la surface de chauffe du calorifère était de $70^m,5$ pour une consommation moyenne de 25 kilog. de houille à l'heure, et dans lequel la température moyenne de l'air a toujours été comprise entre 30 et 50°, trois expériences, qui ont duré chacune quinze jours, ont donné pour effet utile moyen $2^k,37$, $2^k,53$, et $2^k,18$ d'eau évaporée par chaque kilog. de houille.

Ces dispositions de séchoirs sont très-mauvaises, et par la trop grande étendue des surfaces extérieures, et surtout par le mode d'évacuation de l'air. On obtient de bien meilleurs résultats dans des séchoirs peu élevés, très-longs, et à courants d'air continus. Ce dernier mode de séchage est déjà employé en Angleterre avec un grand avantage.

1302. Les figures 3 et 4 (pl. 57) représentent une disposition très-commode du foyer et de la cheminée d'appel pour de petits séchoirs. Le calorifère se compose uniquement d'un cylindre de tôle A, renfermant le foyer; la porte du foyer, celle du cendrier et celle d'appel de l'air sont extérieures. Le cylindre A est environné d'un autre cylindre en tôle, complétement ouvert en dessus, et qui communique par la partie inférieure avec la porte D. Le cylindre A se termine à la partie supérieure par un tuyau de tôle qui s'élève à une certaine hauteur, chemine ensuite horizontalement dans toute la longueur du séchoir, s'élève alors verticalement et sort du bâtiment. Cette dernière partie du tuyau est environnée d'un tuyau d'un plus grand diamètre FG, fermé inférieurement, et qui reçoit deux autres tuyaux H et I qui descendent jusqu'à une petite distance du sol, où ils sont complétement ouverts. Au-dessus des toits, les tuyaux sont terminés, à des hauteurs différentes,

par des calottes sphériques, pour éviter l'action des vents (fig. 5, pl. 57), ou, ce qui vaut mieux, le tuyau à fumée est surmonté d'un cône mobile autour de son sommet, et la cheminée d'appel d'une mitre de Millet (fig. 6, pl. 57) (495).

La disposition du tuyau à fumée et de son enveloppe est peu favorable à l'échauffement de l'air, parce que la couche d'air suit le tuyau et ne le quitte pas; mais, en général, le tuyau qui traverse le séchoir est assez long pour que la fumée n'arrive à son extrémité qu'à une température seulement suffisante pour le tirage. Cependant, si la fumée était abandonnée à une très-haute température, on pourrait échauffer davantage l'air par un grand nombre de dispositions différentes. Il suffirait de placer entre les deux tuyaux plusieurs petits moulinets très-mobiles qui agiteraient l'air dans la cheminée d'appel, ou d'adapter contre le tuyau à fumée des petites plaques inclinées, disposées de manière à rejeter contre la surface du tuyau enveloppant l'air qui aurait parcouru une certaine longueur du tuyau à fumée. On pourrait aussi augmenter la surface de chauffe en donnant au tuyau à fumée la direction d'une hélice, ou seulement des directions alternativement inclinées en sens contraires, ou en le divisant en plusieurs branches, ou enfin en insérant dans le tuyau à fumée des tubes inclinés à sa direction, qui rejetteraient l'air qu'ils auraient échauffé successivement sur tous les points de la circonférence.

Mais le moyen le plus efficace consisterait à mêler l'air du foyer avec l'air d'appel. Dans certains cas, ce mélange pourrait permettre l'introduction de la fumée dans le séchoir; mais cet accident qui, avec de bons appareils au-dessus de la cheminée, serait peu à craindre, ne présenterait aucun inconvénient si on brûlait dans le foyer du coke, ou des houilles sèches, comme celles de Fresnes et de Vieux-Condé, combustibles qui, dans certaines localités telles que Paris, ne coûtent pas plus cher que les houilles grasses.

1303. Les planches 58 et 59 représentent un séchoir à air libre et à air chaud avec tous les détails de la distribution de l'air chaud. La figure 1re (pl. 58) est une élévation du bâtiment; la figure 2 une coupe verticale dans le sens de la longueur; la figure 3 une coupe horizontale au-dessus du plancher du rez-de-chaussée; la figure 4 une coupe horizontale à travers les canaux de circulation de l'air chaud et de l'air brûlé, suivant

le plan XX', fig. 2 (pl. 59). La figure 1re (pl. 59) est une coupe transversale du bâtiment, et les figures 2, 3, 4 et 5 deux coupes verticales et deux coupes horizontales du calorifère.

Le bâtiment renferme deux étages. L'étage supérieur est fermé de tous côtés par des jalousies à palettes mobiles; le toit est ouvert à la partie supérieure, et l'ouverture est recouverte par un petit toit destiné à empêcher les eaux pluviales de pénétrer. Cette pièce est un séchoir à air libre, dont on se sert quand les circonstances atmosphériques sont favorables. L'étage inférieur est un séchoir à air chaud. Les appareils sont disposés de telle manière, que l'on peut à volonté faire arriver l'air chaud par une quelconque des deux extrémités du séchoir, et faire sortir l'air humide par l'autre, et dans tous les cas, la chaleur de l'air brûlé est employée à augmenter le tirage des cheminées d'appel.

A (fig. 2, pl. 58) est le calorifère. L'air chaud, au moyen des registres *b* et *b'* (fig. 4), peut s'écouler par B,C,C, ou B',C',C', et ensuite par les nombreux orifices E,E ou E',E', garnis de registres destinés à répartir uniformément l'air chaud dans toute la largeur du séchoir. L'air humide s'écoule à l'autre extrémité par une caisse horizontale G,G, percée d'un grand nombre d'orifices H,H; cette caisse communique avec la cheminée d'appel K. L'air brûlé, en sortant du calorifère, passe d'abord par les deux canaux I,I, et parcourt simultanément les tuyaux L, L pour gagner les cheminées N,N, qui se réunissent en une seule O, ou les tuyaux correspondants qui se trouvent de l'autre côté, pour gagner la cheminée O'. Les canaux horizontaux sont couverts de plaques de fonte; des registres convenablement placés permettent à l'air brûlé et à l'air chaud de suivre l'un des deux chemins qui les conduisent à chacune des extrémités du séchoir.

On voit que, par cet arrangement, toutes les circonstances favorables à l'économie du combustible sont réunies. Le calorifère seulement n'est pas très-bien disposé, car l'air brûlé doit monter simultanément par un grand nombre de tuyaux et il pourrait arriver que le mouvement n'eût pas lieu dans tous; il serait préférable de diriger d'abord l'air brûlé au point le plus élevé, de le faire descendre par les tuyaux de chauffe dans lesquels il se répandrait uniformément, et de le diriger ensuite dans les tuyaux qui doivent le conduire dans la cheminée. Cette modification serait facile à établir; mais comme l'air brûlé est refroidi dans les canaux

horizontaux qui se trouvent sur le sol du séchoir, elle n'est pas aussi nécessaire que si l'air brûlé gagnait immédiatement la cheminée.

On pourrait placer le calorifère à un des bouts du séchoir et n'avoir qu'une cheminée d'appel, tout en satisfaisant à la condition de faire arriver l'air chaud alternativement par chacune des extrémités, en faisant sortir l'air humide par l'autre. Il suffirait, pour cela, de placer dans le sol un canal garni d'un registre, au moyen duquel on conduirait l'air chaud tantôt à l'extrémité du séchoir la plus voisine du calorifère, tantôt à celle qui est la plus éloignée, et un canal semblable pour amener l'air des deux extrémités dans la cheminée d'appel. La figure 6 (pl. 59) est une coupe verticale du calorifère parallèle à la face du bâtiment sur lequel il est appuyé, et qui indique seulement les tuyaux d'écoulement de l'air chaud et de l'air brûlé. A, calorifère; B,B′, tuyaux garnis de registres par lesquels l'air chaud pénètre dans le séchoir; C,C′, tuyaux de retour de l'air humide; D, tuyau à fumée; E, cheminée d'appel.

1304. La figure 7 (pl. 57) représente la disposition d'un séchoir à air chaud chauffé intérieurement. Les tuyaux A, A′ sont les conduits à fumée d'un foyer placé à l'étage inférieur au-dessous de l'extrémité du séchoir opposée à celle qui est vue en projection dans la figure; ils sont placés dans des caisses en bois ou en maçonnerie légère qui communiquent avec l'air extérieur par des orifices situés près de l'extrémité des tuyaux à fumée, et débouchent dans le séchoir par l'extrémité opposée, de sorte que l'air et la fumée marchent en sens contraire. Les tuyaux à fumée se réunissent à leur extrémité, et pénètrent dans la cheminée d'appel où l'air est introduit par des orifices *a*, *a*, *a* garnis de portes à coulisse que l'on maintient à des hauteurs convenables. Cette disposition est surtout applicable aux séchoirs dans lesquels l'air chaud doit être porté à une température très-élevée.

1305. Pour les toiles et les étoffes en général, les séchoirs peuvent être réduits à des caisses d'une petite étendue, dans lesquelles on fait circuler en sens contraire l'air chaud et la matière à sécher. La figure 8 (pl. 57) représente un appareil de cette espèce. ABCD est une caisse en bois garnie intérieurement d'un grand nombre de cloisons *ab*, *cd*, parallèles, également distantes, s'appuyant sur les deux faces de la caisse parallèle au plan de coupe de la figure, et alternativement sur les faces DC et AB. A chaque extrémité de ces cloisons se trouvent des rouleaux

très-mobiles. A la partie supérieure et dans l'axe de la caisse se trouvent deux autres rouleaux I et K, et deux autres R et S à la partie inférieure. La partie inférieure de la caisse est percée de deux ouvertures E et F, par lesquelles l'air chaud arrive dans la caisse, et la partie supérieure de deux ouvertures G et H qui communiquent avec la cheminée d'appel. Une toile sans fin passe sur tous les rouleaux, et on la fait marcher de manière qu'elle parcoure la caisse de haut en bas. Il est facile de voir, à l'inspection de la figure, que les orifices E et F donnent de l'air chaud, chacun sur une face de l'étoffe, et que si le courant d'air chaud et la vitesse de la toile sont convenables, la toile sortira complétement sèche. Le mouvement de l'air chaud peut être produit par un ventilateur aspirant ou soufflant, ou par une cheminée d'appel.

1306. L'appareil (fig. 9, pl. 57) est analogue à celui que nous venons de décrire, mais beaucoup plus simple. La cloison AB divise la caisse en deux parties; les orifices C et D amènent l'air chaud, et les orifices E et F permettent l'écoulement de l'air humide.

1307. La figure 10 (pl. 57) représente une coupe transversale d'un séchoir à draps. Ces séchoirs, qu'on désigne ordinairement sous le nom de Rames, doivent contenir de l'air à une température supérieure à 40°; ils renferment deux tuyaux à vapeur A, A', qui les parcourent dans toute leur longueur. Ces tuyaux sont enveloppés de planches, de manière que l'air échauffé autour d'eux puisse s'échapper par la partie supérieure. L'air froid arrive par des orifices nombreux B placés au-dessous des tuyaux. Les draps sont tendus sur des traverses horizontales D,D, qui laissent entre elles un intervalle de 10 centimètres environ; les pièces C'C' sont seulement suspendues aux traverses D'D'. L'air chaud s'élève contre les surfaces des quatre nappes de drap centrales, et descend contre les deux surfaces des nappes extrêmes pour gagner les orifices E uniformément distribués dans la longueur du Rame, et qui communiquent avec la cheminée d'appel.

1308. Les figures 1 et 2 (pl. 60) représentent une coupe verticale et le plan d'un séchoir à étoffes, construit par M. René Duvoir, chez MM. Gros et Davilliers, à Gisors.

Les pièces de calicot sont suspendues verticalement à des pièces de bois *a*, *a*.... qui forment un plancher à claire-voie, sur lequel les ouvriers peuvent marcher pour aller étendre les pièces dans toutes les parties du

séchoir. Trois calorifères placés au-dessous du sol lancent l'air chaud à la température moyenne de 120° dans un canal en briques AA, d'où il s'échappe latéralement par un grand nombre d'ouvertures *o*, *o*, *o*..... fermées par des portes à coulisses qui permettent de le répartir également des deux côtés. L'air chaud s'élève d'abord, il est ensuite obligé de descendre pour gagner les orifices des cheminées d'évaporation, dont une partie se trouve au bas du séchoir et l'autre à moitié de sa hauteur. On n'ouvre ces dernières qu'au commencement de l'opération, et on les ferme ensuite complétement, afin que l'air soit obligé de descendre jusqu'à la surface du sol. Les cheminées qui se réunissent trois à trois, forment de chaque côté un seul corps qui s'élève au-dessus du toit.

Dans cet appareil on sèche en 6 heures, 150 pièces de calicot qui contiennent ordinairement 1130 kilogr. d'eau. La consommation de houille est de 4 hectolitres ou 320 kilogr., ce qui correspond à une évaporation de 1130 : 320 = 3^k52 par kilogramme de houille.

Le volume d'air lancé dans le séchoir est de 55,000 mètres cubes. La température extérieure étant de 25°, on a trouvé que la température de sortie à l'extrémité des cheminées était en moyenne de 38°. Il est facile de s'assurer par un calcul très-simple que l'air qui sort est loin d'être saturé; c'est ce qui doit arriver surtout à la fin des opérations, quand le séchage est sur le point d'être terminé; il y a alors une grande perte de chaleur.

1309. Une disposition qui rendrait le séchage plus régulier est représentée (pl. 60) par les figures 3 et 4, dont la première est une coupe verticale suivant la ligne brisée *r s t u*, et l'autre une coupe horizontale suivant *v x y z*.

Le séchoir est divisé en deux parties A et A′ par une cloison BC qui s'élève jusqu'à la hauteur des poutres auxquelles on suspend les étoffes. Deux calorifères D et E sont placés sous une voûte construite au-dessous de la cloison BC. Chaque calorifère fournit de l'air chaud par de gros tuyaux munis de clefs, dans l'un ou dans l'autre séchoir. Les deux séchoirs A et A′ sont construits de la même manière. L'air chaud arrive dans un canal en briques d'où il se répartit uniformément dans la pièce par des ouvertures circulaires de diamètres différents, percées dans des canaux en briques *mn* qui aboutissent au conduit général MN. D'autres canaux *pq*, construits également sous le plancher, communiquent avec les cheminées d'évaporation *a*, *b*, *c*, *d*; des ouvertures carrées, de diamètres variables, servent à

l'appel de l'air saturé. Voici comment on devra conduire les opérations. On fera arriver l'air chaud dans le séchoir A, dont on fermera les cheminées d'évaporation en ouvrant celles du séchoir A'. L'air chaud montera dans le séchoir A, et descendra dans le séchoir A', pour s'échapper par les cheminées *a'*, *b'*, *c'*, *d'*. Quand les pièces de la partie A seront sèches, on fera passer l'air chaud dans le séchoir A', dont on fermera les cheminées d'évaporation ; on ouvrira celles du séchoir A, et on remplacera les pièces séchées par d'autres. L'air chaud suivra alors un mouvement inverse de celui qu'il avait précédemment, de manière à rencontrer d'abord des pièces en partie sèches et ensuite d'autres qui ne le sont pas. L'air pourra donc s'échapper complétement saturé, les calorifères chaufferont constamment, et le séchage marchera sans interruption, circonstances qui toutes diminueront notablement le prix du séchage.

1310. Dans beaucoup de cas on pourra profiter de la chaleur perdue des cheminées des chaudières à vapeur pour le séchage. Dans la blanchisserie de MM. Gros et Davilliers, à Gisors, M. René Duvoir a établi un appareil en fonte composé de tuyaux verticaux chauffés extérieurement par la circulation de la fumée à la sortie du fourneau d'un générateur. L'air en traversant les tuyaux s'échauffe et arrive dans le séchoir à une température moyenne de 100°. Le volume d'air fourni par l'appareil est de 3750 mètres cubes par heure. La température extérieure étant de 25°, la quantité de chaleur utilisée est $3750 \times 1^{k},25 \times 75 : 4 = 80000$ unités ; ce qui correspond à une économie par heure de 20 kilog. de houille dans les calorifères. L'expérience a confirmé exactement ce résultat. Dans un séchoir qui exigeait avant 240 kilogr. de houille en 6 heures, pour le séchage des pièces de calicot qu'il contient, on ne consomme plus dans le même temps que 120 kilogr. pour produire le même effet. La consommation de houille des foyers des chaudières à vapeur est de 130 kilogr. par heure. Le calorifère refroidit la fumée de 400° à 200°.

1311. *Régulateur de température dans les séchoirs.* Lorsqu'il importe que la température de l'air dans un séchoir ou dans une étuve ne dépasse pas une certaine limite, on peut placer dans la pièce des appareils liés avec le registre de la cheminée du calorifère, et qui le ferment complétement quand la température de l'air a atteint la limite assignée. De tous les appareils qu'on pourrait employer, le plus sensible et le plus exact est celui de Sorel. Cet appareil, réduit à sa plus grande simplicité, se

compose de deux vases A et B (fig. 11, pl. 57), de même hauteur et de même diamètre, communiquant par leur partie inférieure, et renfermant de l'eau jusqu'à une certaine hauteur. L'un d'eux est fermé, l'autre ouvert, et ce dernier contient un flotteur lié par une corde et une poulie au registre de la cheminée. Quand la température extérieure augmente, la tension du gaz dans le vase fermé augmente et par l'accroissement de température de l'air et par l'accroissement de force élastique de la vapeur; alors le niveau du liquide s'abaisse dans ce vase, s'élève dans l'autre, et les vases peuvent avoir des dimensions telles qu'à une température assignée, le mouvement imprimé au registre le ferme complétement. On pourrait augmenter le mouvement en donnant au vase A un plus grand diamètre qu'au vase B, ou en augmentant par un levier le chemin parcouru par le flotteur. Mais pour que l'appareil prenne plus rapidement la température du milieu environnant, il vaut mieux employer la disposition représentée par la figure 12 (pl. 57). Le vase fermé est composé d'un faisceau de tubes parallèles et d'un tube latéral qui indique la hauteur du niveau. Le calcul du mouvement du flotteur est d'ailleurs très-simple. Supposons que le vase fermé soit composé de 12 tubes de 5 centimètres de diamètre et de 60 centimètres de hauteur, et que le tube B ait une section équivalente à la somme des sections des tubes, son diamètre sera de 17 centimètres; supposons que *ab* soit la ligne de niveau dans les deux vases à 20°, l'orifice du vase A étant ouvert, et que l'on veuille que le registre, qui a $0^m,30$ de hauteur, soit complétement fermé quand la température du séchoir atteindra 50°. Admettons que la hauteur des tubes au-dessus du niveau *ab* soit de $0^m,35$, et que le vase supérieur ait la même capacité que les tubes s'ils avaient 1 mètre de hauteur; il s'ensuit qu'on peut faire abstraction du vase en supposant aux tubes une hauteur de $1^m,35$ au-dessus du niveau *ab*. Remarquons maintenant qu'à 20° la tension de la vapeur est de $0,^m017$, et celle de l'air de $0^m,76 - 0^m,017 = 0^m,743$, ou de $10^m,10$ en eau; et comme à 50° la tension de la vapeur est de $0^m,088$, l'accroissement de tension de la vapeur sera de $0^m,088 - 0^m,017 = 0^m,071$, ou en eau de $0^m,96$; alors en désignant par x l'abaissement du niveau dans les tubes, ou l'élévation du niveau dans le vase B à la température de 30°, la force élastique du mélange sera $10^m33 + 2x$, et on aura

$$10^m,33 + 2x = 0,96 + 10,1 \frac{1,35}{1,35 + x}(1 + 0,00365 \times 30).$$

équation dont la racine positive est 0,23. Ainsi il suffira que les deux bras de levier qui font mouvoir le flotteur soient dans le rapport de 30 à 23.

1312. *Séchage du bois par l'air chaud.* Dans certains établissements, tels que les verreries, le séchage du bois est indispensable pour obtenir dans le fourneau la température convenable. Dans tous ceux où l'on emploie le bois ou la tourbe, il est important de sécher ces combustibles, quand la chaleur employée à cet effet provient uniquement de la chaleur perdue, parce que la combustion de ces matières est plus parfaite quand elles sont sèches que quand elles sont humides, qu'il y a moins d'air inutile employé, et qu'enfin on ne perd pas la chaleur absorbée par la vaporisation de l'eau hygrométrique qu'elles contiennent.

Dans toutes les usines la chaleur perdue par les cheminées est toujours bien plus que suffisante pour dessécher le combustible que l'on emploie.

1313. Les figures 4, 5, 6 et 7 représentent une disposition qu'on pourrait facilement employer dans les usines qui renferment un moteur. L'air chaud est pris dans la cheminée au moyen d'un ventilateur, et jeté dans une ou plusieurs chambres en briques qui contiennent le bois ou la tourbe rangés sur des chariots en fer dont les roues glissent sur de petits chemins de fer, et d'où l'air sort par une cheminée. La figure 4 est une coupe verticale suivant la ligne EF (fig. 5); la figure 6 est une élévation de l'appareil; la figure 5 une coupe horizontale suivant CD (fig. 4); et la figure 7 une coupe suivant AB (fig. 4). Le tuyau d'appel du ventilateur est garni d'un tuyau de prise d'air froid, afin de ne pas porter sur le bois de l'air à une trop haute température.

1314. Les figures 8 et 9 représentent deux autres dispositions qui n'exigent pas l'emploi d'une force motrice. Dans la première, les chambres sont placées sur des plaques de fonte ou de tôle épaisse qui recouvrent la partie du canal à fumée comprise entre les fourneaux et la cheminée; l'air extérieur entre dans les chambres au-dessous des portes, s'échauffe contre les plaques, traverse le combustible et s'échappe par la cheminée. Dans la seconde, les chambres sont adossées au conduit horizontal de la fumée, auquel on donne, en face des chambres, une plus grande hauteur; ce canal est traversé par un grand nombre de tuyaux de fonte ou de tôle qui prennent l'air extérieur à une extrémité, l'échauffent et le versent par l'autre dans les chambres, d'où il s'échappe par les cheminées après

avoir traversé le combustible. Ces dernières dispositions exigent nécessairement qu'il y ait un certain intervalle entre les fourneaux et la cheminée; cependant, pour la dernière, les tuyaux de chauffe pourraient être placés dans la cheminée elle-même.

Dans chaque cas particulier on pourra calculer la quantité de chaleur nécessaire pour sécher le combustible employé chaque jour; mais la durée de l'opération dépendant beaucoup moins de la quantité d'eau contenue dans le bois que de la grosseur des morceaux, la capacité des chambres et leur nombre ne pourront être déterminés que par l'expérience.

1315. Au premier abord, la disposition qui paraît la plus simple consiste à faire passer toute la fumée des fourneaux à travers le combustible, en plaçant les chambres dans le trajet de la fumée; mais, en général, la chaleur perdue excédant de beaucoup celle qui est nécessaire à la dessiccation, il est inutile de faire passer toute la fumée sur le combustible; en outre, on diminuerait trop le tirage par les circuits que la fumée serait obligée de faire; le tirage serait interrompu quand on chargerait ou qu'on déchargerait les chambres; et enfin on courrait le risque d'enflammer le combustible à cause de la haute température que possède la fumée au sortir des fourneaux, et de la grande proportion d'oxygène libre qu'elle contient encore. On pourrait cependant ne faire passer qu'une partie de l'air brûlé à travers le bois, en le mêlant avec une suffisante quantité d'air, pour que la température ne dépassât pas une certaine limite; mais cette disposition serait assez compliquée et diminuerait beaucoup le tirage de la cheminée, à cause du grand volume d'air extérieur qui serait appelé.

§ 3. — SÉCHAGE DES ÉTOFFES PAR RAYONNEMENT.

1316. Dans les fabriques de toiles peintes on se sert de la chaleur rayonnante pour sécher les étoffes après certaines opérations, principalement après le placage, parce que le séchage doit être prompt, et que les frottements qui se produisent dans les séchoirs ordinaires nuiraient à la netteté des réserves. On emploie pour cela différentes dispositions. Ordinaire-

ment les étoffes sont tendues à la partie supérieure d'une caisse en bois ayant la longueur de la pièce, et l'on fait mouvoir au-dessous, sur un chemin de fer, un chariot qui porte un brasier (fig. 1re, pl. 61). On emploie aussi la disposition représentée par les figures 2 et 3. Au-dessus du foyer A, est un canal vertical court B, qui conduit la fumée dans deux tuyaux de tôle parallèles C,D, un peu inclinés à l'horizon, se réunissant ensuite en un seul E qui s'élève verticalement et sort de l'atelier. Les deux tuyaux sont placés entre deux cloisons en planches, et au-dessus on fait passer les étoffes d'une manière continue. A la manufacture de Jouy, un appareil semblable, dans lequel les tuyaux ont 33 mètres de longueur et $0^m,33$ de diamètre, consomme en 24 heures 2 stères de bois de hêtre, pour sécher 300 pièces de calicot plaqué.

§ 4. — SÉCHAGE DES CORPS PAR LEUR APPLICATION CONTRE DES SURFACES MÉTALLIQUES CHAUFFÉES.

1317. Le séchage des étoffes se fait aussi, en mettant les étoffes humides en contact immédiat avec des surfaces métalliques chauffées par la vapeur. D'après une expérience citée par Clément, une pièce de calicot, pesant $2^k,50$ qui renfermait un égal poids d'eau, et dont les dimensions étaient 24 mètres de longueur sur $0^m,90$ de largeur, étendue sur une lame de cuivre de même surface, en contact avec de la vapeur à 100°, a été séchée en 1 minute. La quantité d'eau évaporée par heure a donc été de $2,50 \times 60 = 150^k$, pour une surface de $24^m \times 0,90 = 21^m,60$. Ainsi la quantité d'eau évaporée par heure et par mètre carré a été de $150 : 21,60 = 6^k,94$.

1318. Ce mode d'opération n'est point en usage. On emploie ordinairement des cylindres mobiles dans lesquels on fait arriver la vapeur et sur lesquels on fait circuler les étoffes.

Les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 8 et 11 (pl. 62) représentent un appareil de ce genre construit par M. Moulfarine. Cette machine est composée d'un bâtis en fonte sur lequel sont ajustés horizontalement, l'un sur l'autre, deux rangées de cylindres creux en cuivre rouge, d'égal diamètre, dans chacun desquels la vapeur, arrivant de la chaudière par un tube, est admise par l'un des fonds de chaque cylindre. L'étoffe que l'on veut faire

sécher passe successivement entre ces cylindres, en embrassant la surface inférieure de ceux qui forment la rangée du dessous et la surface supérieure des cylindres du dessus; elle va ensuite s'envelopper autour d'un rouleau placé sur le premier des cylindres supérieurs, qui tourne par le simple frottement qu'il éprouve contre ce cylindre.

Figure 1re, élévation d'une portion de la machine vue extérieurement du côté de l'engrenage. Figure 2, coupe verticale perpendiculaire aux axes des cylindres. *a*, bâtis en fonte façonné en arcades; les chapiteaux des six colonnes *b*, qui lui servent de pieds, portent un châssis formé des quatre côtés *c*,*c*, et *c'*,*c'*, dans lequel sont ajustés, et tournent, les tourillons des six cylindres creux *d*, en cuivre rouge, qui forment la rangée inférieure; les deux grands côtés *c*,*c* du châssis sont creux dans toute leur longueur, et les deux autres côtés *c'*,*c'*, sont pleins. Des boulons d'assemblage, nombreux et convenablement disposés, servent à donner plus de solidité au bâtis.

Les deux extrémités des cylindres inférieurs *d* sont représentées en coupe verticale par le centre de l'axe dans la figure 4; l'extrémité de droite est celle par laquelle la vapeur, arrivant de la chaudière, est admise dans l'intérieur du cylindre. La figure 5 représente, en coupe et sur une plus grande échelle, la boîte dans laquelle tourne le tourillon de ce cylindre.

g, douille portant une embase *h*, qui s'ajuste sur le fond de chacun des cylindres *d*; elle est percée, au milieu, d'un canal *i* dont le centre est dans la ligne de l'axe du cylindre, et qui est destiné à recevoir la vapeur. Cette douille est logée et tourne librement, mais à frottement, dans une boîte circulaire faisant corps avec le côté *c* du châssis rectangulaire, et dont la partie annulaire et évidée *l* est remplie d'étoupe qui se trouve fortement refoulée par un anneau *o* (fig. 5 et 6), qui est enfilé sur le bout de la douille *g*. Cet anneau, dont le diamètre extérieur est parfaitement égal au diamètre intérieur de la boîte *k*, est réuni, par trois fuseaux *m*, avec une bague cylindrique *n*, ayant aussi un diamètre égal à celui de l'intérieur de la boîte *k*. Cet assemblage forme une lanterne qui permet à la vapeur, dont le côté *c* du châssis est rempli, de passer entre les fuseaux *m* pour se rendre dans le cylindre par le canal *i* de la douille *g*. La bague *n* de la lanterne est retenue en place au moyen d'une plaque ronde *p*, fixée extérieurement par quatre vis sur le côté *c* du châssis,

comme on le voit figure 1re. Cette disposition permet de comprimer l'étoupe placée en *l*, autour de la douille *g*, de manière à empêcher la vapeur, qui arrive de la chaudière par le tube *f*, dans le côté *c* du châssis, de sortir par les joints d'assemblage des tourillons *g*, des cylindres *d*, avec leurs boîtes *k*.

q, sept cylindres en cuivre rouge, formant la rangée supérieure; ils sont absolument semblables aux cylindres *d*; leurs tourillons sont reçus et tournent dans les têtes des poupées *r* et *r'* (fig. 1, 2 et 3), fixées, chacune, par deux boulons sur les côtés *c* du châssis formant le dessus du bâtis. Les poupées *r* et *r'* sont percées au centre, et jusqu'à leur tête, d'un canal communiquant avec l'intérieur des tuyaux *c*, et la tête de chacune des sept poupées *r*, par laquelle doit passer la vapeur qui vient du côté *c* du bâtis pour pénétrer dans le cylindre, est formée d'une boîte à étoupe recevant le tourillon du cylindre, et le tout est disposé exactement de la même manière que dans les figures 4 et 5.

Le bout de chacun des cylindres *d* et *q*, opposé à celui qui reçoit la vapeur, est muni, intérieurement, d'un tube *t* (fig. 2) en forme d'S, tournant avec le cylindre dans lequel il est adapté, et ayant pour objet de ramasser, en tournant, l'eau formée dans le cylindre par la condensation de la vapeur, pour la reporter à la hauteur de l'axe du cylindre où elle est évacuée par un tuyau. A cet effet, le tourillon de ce bout du cylindre est, comme celui de l'autre bout, formé d'une douille qui reçoit, à son centre, l'eau que lui amène le tuyau *t*; et comme cette douille est reçue dans une boîte à étoupe disposée comme celle d'admission de la vapeur, l'eau qui arrive par le centre de la douille passe entre les fuseaux la lanterne qui comprime l'étoupe, et se rend, savoir : celle qui provient de la condensation dans les cylindres inférieurs *d*, directement dans le côté *c* du bâtis, qui est creux à cet effet; et celle résultant de de la condensation opérée dans les cylindres *q* descend dans les poupées creuses *r'*, pour se rendre dans la même capacité *c*, d'où elles sont, l'une et l'autre, évacuées par le conduit sinueux *u* (fig. 2 et 4). Le fond de chacun des treize cylindres *d* et *q*, opposé à celui par lequel arrive la vapeur, est muni d'un reniflard *v* (fig. 2). Ce reniflard, que l'on voit représenté séparément en coupe et sur une plus grande échelle (fig. 7), est appliqué intérieurement contre le fond du cylindre, au moyen d'une vis; il est formé d'une plaque ronde de métal *x*, ayant trois petites oreilles,

comme l'indique la figure 8, qui représente cette plaque de face ; cette plaque est posée sur une ouverture *y* pratiquée dans un bouchon fixé sur l'épaisseur du fond du cylindre, et elle est maintenue appliquée sur le bord du trou *y* par la pression qu'exerce contre elle un ressort à boudin *z*, logé dans la tête du support coudé *a'*, dont la queue est vissée intérieurement contre le fond du cylindre.

Chacun des cylindres à vapeur *d* et *q* porte, sur le bout par lequel se fait l'entrée de la vapeur, un cercle denté *b'* (figure 1), muni de quatre petites pattes *d'*, que l'on fixe sur le bout du cylindre au moyen de quatre vis.

Les trois premiers cercles dentés, placés sur les trois premiers cylindres de droite, portent chacun 98 dents, et le nombre des dents de tous les autres cercles augmente successivement d'une unité, de manière à faire subir au tissu *e'* (fig. 2), que l'on fait sécher, une petite traction qui sert à le tendre convenablement, à mesure qu'il passe d'un cylindre sur l'autre, jusqu'à ce qu'il arrive au rouleau *f'* (fig. 1 et 2), sur lequel il s'enroule. Les tourillons de ce rouleau tournent librement dans deux fourchettes *g'*, ajustées sur les têtes des deux poupées *r* et *r'*, qui portent le premier des cylindres *q* ; ces tourillons montent dans les fentes des fourchettes, qui lui servent de guides, à mesure que sa surface se garnit d'étoffe ; le rouleau reçoit son mouvement de rotation de celui des cylindres *q* sur lequel il repose, par le simple effet du frottement.

Chacun des cercles dentés *b'* de la rangée de cylindres supérieurs engrène avec deux cercles dentés de la rangée inférieure, à l'exception des deux extrêmes, qui n'engrènent qu'avec un seul. Par ce moyen, toutes les parties de l'engrenage concourent à attirer le tissu vers le rouleau *f'*, qui doit le recevoir sec et bien tendu.

h' (fig. 1re), large poulie destinée à recevoir une courroie venant du moteur principal ; elle porte à son centre un axe horizontal que l'on voit en plan (fig. 11) sous la lettre *i'* ; cet axe, qui est reçu près de la poulie *h'* dans un coussinet *k'*, avec chapeau, établi sur un support en forme de console *l'* (fig. 1 et 2), et dont l'extrémité opposée tourne dans la tête d'un support *l''* (fig. 11), porte un pignon *m'* de 20 dents, qui engrène avec le premier des cercles dentés *b'*, et qui imprime de cette manière le mouvement à toutes les parties mobiles de la machine.

Les supports l' et l'' sont fixés solidement par des boulons sur le côté massif c' du bâtis. L'axe i' (fig. 11) porte un embrayage o' qui se manœuvre à la main au moyen du levier p' (fig. 1 et 11), et qui permet d'interrompre et de rétablir à volonté le mouvement des cylindres d et q, sans jamais être obligé d'arrêter celui de la poulie h'. n', ressort ayant à sa partie supérieure deux encoches, l'une destinée à recevoir le levier p', dans le cas de l'embrayage, et l'autre à maintenir ce même levier pendant les temps d'arrêt.

La pièce de tissu que l'on se propose de faire sécher est d'abord placée en travers sur le derrière de la machine, comme on le voit en e' (fig. 2); le bout de cette pièce est ensuite cousu à des rubans que l'on a eu soin d'engager entre les treize cylindres d, q, et d'amorcer sur le rouleau f''. Ces dispositions faites, l'ouvrier chargé de diriger le travail de la machine, se porte au levier p', qu'il manœuvre de manière à mettre en communication les deux parties de l'embrayage o'; l'engrenage se trouve alors en action, et fait tourner les treize cylindres d, q, qui, dans leurs révolutions, amènent successivement l'étoffe sur le rouleau f'.

Il faut avoir soin d'attacher à l'avance, à la fin de chaque pièce qui est soumise au séchage, le bout d'une nouvelle pièce que l'on se propose de faire sécher; l'opération se continue de cette manière et sans interruption jusqu'à ce que toutes les pièces à sécher soient épuisées. Ces machines reviennent à 7,000 francs.

1319. On emploie quelquefois des appareils beaucoup plus simples, et qui sont formés d'un seul tambour en cuivre d'une grande dimension. Tel est celui qui est indiqué dans les figures 9 et 10 (pl. 62). Les dispositions sont les mêmes que dans l'appareil précédent; mais le mouvement est donné au cylindre d'enroulement, et c'est l'adhérence de la toile avec la surface du tambour qui détermine sa rotation.

1320. Des machines analogues à celles que nous avons décrites d'abord, sont employées pour sécher les papiers continus. Les figures 12 et 13 (pl. 61) représentent un de ces appareils.

Cet appareil est placé immédiatement au-dessus de la machine à papier, et se lie avec elle au moyen d'une pièce de drap sans fin, qui vient prendre le papier à la sortie de la machine pour le monter à l'appareil à sécher. Un autre drap sans fin conduit le papier sur des cylindres chauffés à la vapeur.

o'o', rouleaux en bois qui soutiennent le drap conducteur du papier. *o''*, gros rouleau également en bois, porté par la tête de l'appareil à sécher, qui sert de renvoi au conducteur H,H. *o'''*, rouleau en bois servant à tendre par son propre poids le drap H,H, et pouvant prendre la position ponctuée qu'on voit dans la figure. Q, cinq cylindres en cuivre sur lesquels vient passer la feuille continue de papier que le drap sans fin K accompagne et tient appliquée contre, pendant tout le trajet. *s*, trois rouleaux en bois servant à conduire et à tendre le drap K en dessous de l'appareil. *s's'*, deux petits cylindres en cuivre servant à diriger le papier sur les cylindres Q et de renvoi au drap K. *s''s''*, deux autres petits cylindres en cuivre, qui ont pour objet de séparer le drap ou du moins de l'empêcher de se froisser à cet endroit. 4, rouleau en bois sur lequel le papier vient s'enrouler à mesure qu'il sort de l'appareil à sécher. 4', autre rouleau semblable qui remplace le premier quand celui-ci est chargé de papier au degré convenable. *q*, leviers tournant sur deux tourillons *x*, placés à leur centre et supportant par leurs extrémités les rouleaux 4 4'. *q'*, détente servant à retenir le levier *q* dans une position horizontale, pendant que l'enroulement du papier a lieu. 1, poulie recevant le mouvement du moteur. Ce mouvement doit être calculé de manière que l'appareil à sécher débite juste le papier que fournit la machine qui le fabrique. 2, poulie montée sur le même axe que la poulie 1, et qui donne le mouvement à la poulie 2', qui fait tourner le rouleau *o''* chargé de faire monter le drap H conduisant le papier. 1', poulie donnant le mouvement à la poulie 1'' qui fait tourner les rouleaux de décharge 4, 4' tour à tour. La poulie 1'' porte à l'extrémité de son axe une boîte coulante qui prend le carré en saillie de l'axe du rouleau 4, laquelle boîte est maintenue en place par un petit levier d'embrayage qu'on fait agir au moment du changement du rouleau plein pour le rouleau vide. La superposition du papier continu grossissant sans cesse le diamètre du rouleau, et le mouvement qui lui est donné par la poulie 1', étant invariable, il est nécessaire, pour ne pas rompre le papier, que la corde qui transmet le mouvement ne soit que légèrement tendue, pour qu'elle puisse glisser dans les gorges des poulies quand la tension du papier devient trop grande. 3, poulie donnant le mouvement, par le moyen d'une chaîne croisée, aux poulies 3',3' qui font mouvoir dans un sens différent les petits cylindres *s's'*. 4'', roues d'engrenage qui font tourner

avec une vitesse égale les cinq cylindres chauffeurs dans le sens indiqué par des flèches.

5, Tuyau horizontal pour la distribution de la vapeur dans les cinq cylindres chauffeurs. Des tuyaux verticaux sont ajustés sur ce tuyau horizontal au moyen de brides, et vont porter la vapeur à chacun des cylindres à travers leurs axes percés, sur le bout desquels les tuyaux sont ajustés à genouillère. Le tuyau qui amène la vapeur de la chaudière est muni d'un robinet pour l'admission de la vapeur dans l'appareil. 6, tuyau pour l'extraction de l'eau condensée dans l'intérieur des cylindres. Ceux-ci portent, dans le sens de leur longueur, un siphon renversé qui a une pente vers l'orifice par où l'eau condensée s'échappe, et où elle est amenée par des conduits correspondants. 6′, brides fermant le bout prolongé des axes percés des cylindres chauffeurs. Le centre de ces brides est garni d'une soupape à air qui s'ouvre en dedans pour l'admission de l'air atmosphérique, dans le cas où le vide viendrait à se faire dans l'intérieur des cylindres; les soupapes pour l'admission de l'air peuvent être fixées sur le fond même des cylindres. Il faut remarquer que tous ces tuyaux, tant pour l'admission de la vapeur que pour l'évacuation de l'eau condensée, sont fixes, et qu'ils se raccordent avec les axes percés des cylindres, au moyen de boîtes à étoupe en cuivre dont la forme est bien connue.

1321. Quant à l'effet utile des appareils dont il est question, on conçoit d'abord facilement que la quantité d'eau évaporée doit être beaucoup plus petite que la quantité de vapeur condensée, à cause de la chaleur rayonnée par les corps humides, de l'échauffement de l'air, et parce que la totalité de la surface des cylindres n'étant pas couverte d'étoffe humide, une partie se refroidit librement dans l'air. Voici les résultats de plusieurs expériences faites par M. Royer (Bulletin de la sosiété de Mulhausen, 1839). 20 pièces de calicot, en sortant de la presse, pesaient 150 kilog.; la dessiccation a duré 3 h. $\frac{1}{2}$, elles pesaient alors 76 kilog.; la quantité d'eau évaporée a été par conséquent de 74 kilogr., et comme la quantité d'eau condensée a été de 102 kilogr., 1 kilogr. de houille a évaporé $5 \times \frac{74}{102} = 3^{k}63$. Des expériences faites sur 325 pièces ont donné pour l'effet utile de 1 kilog. de houille $3^{k},65$. La machine était à un seul cylindre, et l'eau de condensation était bouillante; la pression de la vapeur dans la chaudière était de $1^{m},37$. D'autres expériences faites

avec une machine à 6 cylindres ont donné seulement $2^k,45$ pour l'effet utile; mais ces dernières expériences ont eu lieu en hiver, dans une salle mal fermée et à une température voisine de 0°.

1322. Les conclusions d'un mémoire de M. Penot, appuyées par les expériences de M. Royer et par celles de M. Léon Schwartz, sont : 1° que le mode de séchage des toiles le plus économique est celui qui consiste à les appliquer sur des cylindres chauffés à la vapeur; 2° que quand les séchoirs, disposés comme ils le sont en Alsace, ferment bien et qu'on peut élever la température de 45 à 50°, il y a de l'économie à n'ouvrir les soupiraux que quand les toiles sont sèches; 3° qu'il est toujours avantageux d'élever la température autant que possible.

Nous partageons complétement cette opinion; mais, comme nous l'avons déjà dit, il y aurait beaucoup plus d'avantage encore à employer des séchoirs bas, longs, étroits, à une température élevée, et satisfaisant surtout au principe de la continuité du travail.

1323. *Fours de torréfaction du tabac à fumer.* En sortant des machines dans lesquelles il a été haché, le tabac à fumer doit éprouver une première dessiccation dans des fours, où la température soit supérieure à 100°, mais n'excède pas 150°; le tabac est ensuite placé dans des séchoirs où se compléte la dessiccation. On emploie en France deux espèces de fours de torréfaction : les fours chauffés à la vapeur et ceux dans lesquels les plaques sont chauffées directement par le foyer. Nous décrirons ces appareils avec les détails nécessaires, parce qu'ils sont applicables à d'autres usages, et parce qu'ils renferment des dispositions qui peuvent être utiles dans un grand nombre de cas.

1324. Les premiers fours de torréfaction à feu nu que l'administration des tabacs de France a fait exécuter, se composaient de plaques de fonte ou de tôle, placées à la suite les unes des autres, et reposant sur deux murailles de briques; le foyer était à l'une des extrémités, la fumée parcourait toute la longueur des plaques et se rendait ensuite dans la cheminée. Mais, par cette disposition, la température des plaques était très-irrégulière, l'opération exigeait beaucoup de soin de la part des ouvriers, et on perdait beaucoup de chaleur.

1325. M. Rudler a fait construire des fours qui obvient à tous ces inconvénients, et qui servent en même temps à brûler les côtes de tabac, qui ne sont d'aucun usage et qui doivent être détruites, afin qu'elles ne deviennent pas un élément de fraude. Cette dernière condition était dif-

ficile à remplir, du moins en brûlant complétement la fumée, parce que les côtes de tabac, renfermant beaucoup d'eau et de sels, s'enflamment difficilement; mais la combustion complète de la fumée était indispensable, car, lorsqu'elle ne l'est pas, il en résulte dans le voisinage une odeur insupportable.

La figure 1re (pl. 63) est une coupe longitudinale suivant la ligne AB (fig. 2) du four dont il s'agit; la figure 2 est une coupe horizontale suivant CD (fig. 1); la figure 3 une coupe horizontale suivant la ligne FG (fig. 1); la figure 4 une vue de la partie antérieure du fourneau; la figure 5 une coupe verticale suivant IK (fig. 1); et la figure 6 une autre coupe verticale suivant MN (fig. 1).

a, foyer à houille. *b*, foyer à côtes de tabac. *c*, partie des carneaux où se réunissent les flammes des deux foyers. *d*,*d*,*d*,*d*, carneaux parcourus par l'air brûlé. *g*,*g*, bassin en fonte composé de 3 parties représentées en détail dans les figures 7, 8, 9, 10 et 11; sur ce bassin est boulonnée une grande plaque de tôle de fer *h*,*h*, sur laquelle se fait la torréfaction du tabac; cette plaque est terminée à un bout par une plaque en fonte sur laquelle est fixée la cheminée *f*. La cheminée est composée de deux cylindres concentriques; dans l'intervalle des enveloppes circule de l'air qui, après s'être échauffé, alimente un séchoir placé à un étage supérieur. Le bassin de fonte *gg* est appuyé sur des murs en briques *m* et *n*, qui renferment un espace vide, dans lequel de l'air s'échauffe et s'écoule par le tube *o*.

Pour mettre cet appareil en train, on commence par allumer le foyer à houille; lorsqu'il est en pleine activité et que la plaque de torréfaction a atteint 120° à 150°, on commence la combustion des côtes et le travail de la torréfaction. On étale uniformément sur la table à peu près 40 kilog. de tabac, que deux ouvriers retournent à peu près pendant 20 minutes; la dessiccation du tabac se termine ensuite dans les séchoirs. La torréfaction de 100 kilog. de tabac exige, terme moyen, 12k,37 de charbon; et on consomme 72k15 de charbon pour évaporer 100 kilogr. d'eau, sans compter la chaleur fournie pour la combustion des côtes. Dans l'appareil décrit, on brûle environ 50 kilog. de côtes par heure.

1326. Les fours de torréfaction à la vapeur que l'administration des tabacs de France a fait établir à la manufacture de Paris, avaient d'abord la forme d'un parallélipipède à base rectangulaire. Ces appareils, cons-

truits tantôt en fer, tantôt en cuivre, ne pouvaient résister à la faible pression de la vapeur, qui n'excédait pourtant jamais 0,^{m}96 de mercure. L'administration, sur la proposition de M. Gay-Lussac, décida, en 1834, que ces appareils seraient remplacés par d'autres, formés de tuyaux de cuivre, et M. Rudler, ingénieur de la manufacture, fut chargé d'en faire les plans et d'en surveiller l'exécution. Depuis leur installation, ces appareils n'ont pas présenté un accident qu'on puisse signaler.

1327. La planche 64 représente un de ces appareils à une échelle de $\frac{1}{10}$. Les figures 1 et 2 représentent l'élévation et le plan; les figures, 3, 4 et 5 une coupe verticale, une coupe horizontale, et une coupe transversale. Chaque appareil est composé de deux parties parfaitement symétriques placées bout à bout. *a*, réservoir en fonte. *b*, couvercle également en fonte, fixé sur le réservoir *a* au moyen de 20 boulons, et de mastic de fonte. *c*,*c*,*c*,*c*, tuyaux en cuivre rouge d'une seule pièce, et de 0^{m},002 d'épaisseur; ils ont extérieurement 0^{m},115 de diamètre, et 6^{m},22 de longueur. Ces tuyaux sont terminés d'un côté par des tampons en cuivre brasés sur les tuyaux; de l'autre côté par des brides pleines, dans lesquelles on a ménagé deux ouvertures; les oreilles de ces brides sont en outre percées de 4 trous pour le passage de 4 vis à chapeaux qui fixent les tuyaux sur le couvercle *b*; les joints de ces tuyaux avec le couvercle *b* sont faits avec des rondelles de plomb et du mastic rouge (céruse, minium et huile de lin). *d*, réservoir en cuivre placé dans le réservoir en fonte, portant sur son fond et au milieu une pièce creuse *f*, qui fait communiquer le réservoir *d* avec le robinet à trois eaux *g;* ce robinet, qui a 0^{m},04 de diamètre intérieur, est fixé par l'une de ses brides au milieu de la caisse *a;* la bride opposée reçoit le tuyau à vapeur qui communique avec la chaudière.

Le réservoir *d* est fermé par un plateau maintenu par des boulons, et sur lequel sont brasés 10 tuyaux en cuivre *h*, *h*, *h*, de 0^{m},03 de diamètre et de 6^{m},06 de longueur; ces tuyaux passent dans des ouvertures ménagées dans le couvercle du plateau *b*. *i*, robinet à trois eaux de 0^{m},02 de diamètre inférieur, placé sur le côté et en dessous de la caisse *a;* ce robinet est destiné à faire écouler l'eau de condensation; un tuyau adapté à la bride inférieure conduit cette eau directement dans la chaudière : la hauteur de l'appareil au-dessus du niveau de l'eau dans la chaudière (4 mètres) dépasse l'excès de la pression de la vapeur sur celle de l'atmosphère.

k, robinet de 0m,015 de diamètre intérieur servant à expulser l'air de l'appareil; il communique avec un tuyau qui débouche à l'extérieur.

ll, pieds en fonte du réservoir *a*. *m*, *m*, *m*, *m*, pieds en fonte qui, avec les pieds *ll*, supportent les rebords en bois *n*, *n*, *n*. Les pieds *m*, *m*, *m*, *m* sont reliés deux à deux par les semelles en bois *o*, *o*, *o*, et par les boulons d'écartement *r*, *r*, *r*, *r*.

La figure 5 représente la vue de face de l'intérieur du réservoir en fonte *a*. La figure 6, le couvercle de ce réservoir; les figures 7 et 8, l'élévation et la coupe longitudinale des rouleaux *p*, *p*, qui soutiennent les tuyaux de chauffage.

Pour empêcher le tabac de passer entre les tuyaux *c*, *c*, *c*, qui ne sont pas en contact, des bandes de plomb d'une forme triangulaire sont placées entre eux. L'appareil condense 45 kilogr. de vapeur par heure, et torréfie 160 à 180 kilogr. de tabac.

§ 5. — SÉCHAGE DES ÉTOFFES PAR LA FORCE CENTRIFUGE.

1328. Imaginons un vase percé d'un grand nombre de petits orifices, ou formé d'une toile métallique, renfermant une étoffe humide et soumis à un mouvement de rotation très-rapide; en vertu de l'inertie de la matière, les petites particules d'eau qui mouillent l'étoffe se détacheront de sa surface et sortiront par les ouvertures de l'enveloppe. C'est sur ce principe que sont construites les machines dont il s'agit.

La machine représentée figure 12 (pl. 63) est formée de 4 piliers en fonte AA, fixés dans le sol et supportant 4 croisillons horizontaux BB, à travers lesquels passe l'axe vertical CC, supporté par une crapaudine D, et qui porte à son extrémité supérieure le vase en cuivre annulaire EFGHIKLM; ce vase est percé de trous, et divisé en 4 compartiments par des diaphragmes dirigés suivant des méridiens. NOPQ est un vase de cuivre fixe qui enveloppe le précédent et qui reçoit l'eau qui s'écoule ensuite par les tubes RR; le vase mobile se ferme par un couvercle SS, et tout l'appareil par un autre couvercle TT formé de barres de fer et qui est maintenu par des clavettes; ce dernier est destiné à éviter les accidents qui pourraient résulter de la rupture de l'appareil. La poulie U sert à communiquer le mouvement à l'axe CC.

On met une pièce de toile mouillée dans chacune des cases de la caisse

intérieure, et on imprime un mouvement rapide de rotation à l'appareil. Avec les dimensions de la figure, un appareil faisant 300 tours à la minute, peut sécher 20 pièces d'étoffe par heure. Il m'a été impossible d'obtenir des renseignements sur le travail consommé. Les pièces qu'on met dans la machine n'ont point été soumises à la presse, et elles en sortent encore un peu humides; leur dessiccation complète s'achève ensuite sur des cylindres à vapeur.

§ 6. — SÉCHAGE DES MATIÈRES PULVÉRULENTES.

1329. Le séchage des matières pulvérulentes peut s'exécuter à l'air libre comme celui de toutes les autres substances; mais ce mode de séchage présente beaucoup plus de difficultés pour les corps dont il s'agit, parce que ces corps, ne pouvant être étendus que dans le sens horizontal, leur dessiccation exige un espace très-grand, disposé d'une manière particulière. C'est cette méthode que l'on emploie dans tous les moulins à farine dans lesquels on lave le blé; ce dernier est séché sur des aires pavées exposées à l'air libre.

1330. Mais quand le séchage doit être prompt et continu, on emploie les mêmes procédés que nous avons déjà indiqués pour les tissus; on place les matières en couches minces dans un espace où l'on fait circuler de l'air chaud, ou sur des surfaces métalliques que l'on chauffe directement par l'air chaud ou par la vapeur. La seule différence entre ces séchoirs et ceux dont nous avons déjà parlé, consiste dans la disposition des matières dans le séchoir.

1331. Nous ne nous arrêterons que sur quelques modes de dessiccation qui présentent quelques particularités intéressantes, et d'abord sur celui de l'orge germée dans les brasseries.

On sait que pour disposer l'orge à la fermentation alcoolique, on la mouille et on la dépose sur une aire horizontale en une couche épaisse; la germination se manifeste bientôt, et quand elle a acquis le développement convenable, il faut l'arrêter par une prompte dessiccation. Cette opération se pratique en étalant l'orge germée sur une surface horizontale formée de feuilles de tôle percées d'un grand nombre de petites ouvertures, au-dessous de laquelle se trouve un espace conique, ayant pour base l'aire elle-même, et qui est occupé inférieurement par un four-

neau. La figure 1re (pl. 65) représente la coupe de cet appareil. Le foyer est surmonté d'une voûte afin d'augmenter la température du foyer, et de brûler la petite quantité de fumée que le combustible employé peut dégager; l'air chaud arrive ensuite dans le tambour B fermé supérieurement, et garni latéralement de plusieurs ouvertures qui donnent issue à l'air chaud. Cette disposition est nécessitée par la chute fréquente des germes qui se détachent du grain et qui passent à travers les ouvertures de l'aire; ces fragments se réunissent dans les conduits CC. Ces conduits ont en outre pour objet d'amener de l'air froid qui se mêle avec l'air chaud qui sort du foyer, pour en abaisser la température.

L'air chaud s'introduit à travers l'orge en passant par les ouvertures de l'aire, et produit une dessiccation très-rapide. L'espace qui est au-dessus de l'aire doit être évidemment garni d'ouvertures pour l'écoulement de l'air saturé d'humidité.

Cette opération exige nécessairement l'emploi d'un combustible qui ne donne point de fumée. A Paris on emploie de la houille de Frênes, qui jouit de cette propriété; on pourrait aussi brûler du coke ou du charbon de bois, mais pour ce dernier la dépense serait plus considérable.

1332. On a remplacé avantageusement les tôles percées qui forment l'aire de la touraille par des toiles métalliques, et depuis, on a employé en Angleterre, pour cet objet, des briques percées de petits trous, qui doivent présenter beaucoup plus d'avantages encore, à cause de leur plus grande durée, et de leur prix moins élevé que celui de la tôle ou des toiles métalliques.

1333. Dans la disposition que nous venons de décrire il y a beaucoup de chaleur perdue à la fin de l'opération, parce qu'alors il se dégage beaucoup d'air non saturé de vapeur d'eau. La disposition représentée par la figure 2 (pl. 65) n'a pas cet inconvénient. L'orge germée est placée sur plusieurs cadres garnis de toiles métalliques, superposés et mobiles chacun autour d'un axe horizontal passant par son centre. Lorsque l'orge qui recouvre le cadre inférieur est sèche, on incline le cadre, et l'orge sort de la touraille par un orifice qui est garni d'une vanne qu'on lève seulement pour cet effet. Alors on charge le cadre inférieur de l'orge déjà en partie séchée sur le second cadre, on fait tomber ainsi l'orge de chaque cadre sur celui qui est au-dessous, et on charge le dernier

d'orge humide. A chaque opération on étale uniformément la matière sur les cadres.

1334. La figure 3 (pl. 65) représente la disposition d'une touraille continue, construite dans la grande brasserie de Louvain, par MM. Lacambre et Persac, ingénieurs civils, anciens élèves de l'école centrale. Cette brasserie a été montée pour faire 1,000 hectolit. de bière par jour, mais on n'en fabrique ordinairement que 100. L'orge est séchée sur des cadres en fer AAA, inclinés, garnis de toiles métalliques, mobiles autour de leurs centres, et auxquels la tige verticale BB imprime des secousses fréquentes qui font cheminer l'orge de haut en bas; chaque châssis dépasse le suivant de $0^m,12$. L'orge est amenée sur les deux systèmes de châssis par les tuyaux C, C. DD est un plancher en fer sur lequel tombe l'orge après sa dessiccation. E est un calorifère qui fournit l'air chaud; il renferme 100 mètres carrés de surface de chauffe, brûle 400 kilogr. de houille en 12 heures, et sèche par jour 50 hectolitres de malt, renfermant chacun de 27 à 36 kilogr. d'eau. Chaque kilogramme de houille évapore donc de $1^k,7$ à $2^k,2$ d'eau. F est un tarare mobile pour nettoyer l'orge. G est un ventilateur à force centrifuge, qui prend l'air chaud dans la cheminée commune des fourneaux et le dirige dans des appareils où l'on chauffe l'eau destinée à l'usage de la brasserie. Les foyers consomment une quantité de houille qui correspondrait à une machine de 200 chevaux, et le ventilateur absorbe un travail qui ne dépasse pas 6 chevaux; il fait 1500 tours à la minute.

1335. On peut obtenir la continuité dans les appareils de dessiccation des matières pulvérulentes par les mêmes moyens qu'on emploie pour produire cet effet dans la dessiccation des étoffes.

La figure 4 (pl. 65) représente un appareil très-simple qui satisfait complétement à cette condition. A et B sont deux rouleaux placés dans une caisse fermée, et autour desquels se trouve une toile sans fin, mise en mouvement par la rotation que l'on imprime à l'un des rouleaux; la matière à sécher tombe sur la toile sans fin par la trémie C, et après avoir parcouru la longueur de la caisse, dans la trémie D. L'air chaud arrive par l'extrémité E et sort par l'extrémité opposée F; son mouvement est produit ou par un ventilateur, ou par une cheminée d'appel.

1336. La figure 5 représente une disposition analogue, mais qui con-

tient plusieurs toiles sans fin dont les mouvements ont lieu en sens contraire, par des engrenages fixés sur les axes des rouleaux qui sont du côté de celui sur lequel le moteur agit directement. L'air chaud arrive par le tube E et sort par le tube F. Cette disposition permet de ne donner qu'une petite longueur à l'appareil; mais il exige des roues dentées, et un travail plus considérable que celui qui est consommé dans le séchoir décrit précédemment.

1337. La figure 6 représente un séchoir à tiroirs, qui, sans être continu, permet de ne laisser échapper que de l'air saturé. Les tiroirs s'appuient, alternativement à gauche et à droite, contre les faces latérales de la caisse dans laquelle ils sont placés, et les planches qui les supportent sont garnies de larges orifices dans les parties qui ne sont pas couvertes par les tiroirs; par cette disposition l'air peut circuler sur toutes les matières déposées dans la caisse. L'air chaud arrive par le canal A; mais il peut être dirigé vers la partie supérieure ou vers la partie inférieure de la caisse, au moyen des deux tuyaux B et C et des registres *c* et *b*. De même l'air qui a traversé la caisse peut s'écouler par le bas ou par le haut, au moyen des tuyaux F et E et des registres *e* et *f*. En fermant les registres *c* et *e*, l'air chaud arrivera par la partie supérieure de la caisse et s'écoulera par sa partie inférieure; et quand la dessiccation, qui se fera nécessairement plus rapidement à la partie supérieure qu'à la partie inférieure, aura atteint les tiroirs du milieu, on videra ceux de la partie supérieure, on les remplira de matière humide, et on fera marcher l'air en sens contraire. Lorsque la moitié inférieure des tiroirs, dans lesquels la dessiccation s'opérera alors plus vite que dans l'autre, ne renfermera plus que des matières sèches, on les videra, on les remplira de matières humides, et on fera marcher l'air chaud en sens contraire.

§ 7. — SÉCHAGE PAR L'AIR A LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE, DESSÉCHÉ ET MIS EN MOUVEMENT PAR LA CHALEUR OU PAR UNE ACTION MÉCANIQUE.

1338. La méthode de séchage à l'air libre que nous avons indiquée (1152), et qui paraît très-avantageuse dans un grand nombre de circonstances, a pourtant, comme nous l'avons déjà remarqué, un grand inconvénient, celui de donner des résultats très-variables suivant l'état hygrométrique de l'air, et même de ne produire aucun effet dans le cas

où l'air serait saturé; ainsi elle serait difficilement applicable à des travaux continus. Mais si l'on employait de l'air desséché artificiellement, et mis en mouvement par un moteur quelconque, cette méthode de dessiccation pourrait, dans certaines circonstances, être très-avantageuse; elle serait applicable surtout à la dessiccation de la colle.

1339. Jusqu'ici, pour sécher la colle, on a uniquement employé des étendages placés dans des bâtiments ouverts; cette méthode, qui paraît plus économique que toutes les autres, l'est souvent beaucoup moins, par la lenteur, l'irrégularité, l'incertitude du travail, et par les accidents qui surviennent; car la colle s'altère par la présence de l'air saturé d'humidité, qui y développe des moisissures, et par un air trop sec, qui, en accélérant trop la dessiccation, y produit des gerçures. Ce serait donc une amélioration très-importante pour les fabriques de colle, que l'emploi d'un séchoir qui fût indépendant de l'agitation et de l'état hygrométrique de l'air.

1340. La méthode que nous allons décrire remplit exactement ces conditions; elle est applicable non-seulement à la dessiccation de la colle, mais à celle de toutes les autres substances que l'on voudra sécher rapidement, par un travail uniforme, continu, et à la température ordinaire.

1341. L'appareil consiste en une chambre close, d'une forme convenable, renfermant les substances à dessécher, et n'ayant que deux issues; l'une pour admettre l'air atmosphérique préalablement desséché, quand il est très-humide, l'autre pour la sortie de l'air saturé, dont le mouvement sera produit par un tirage artificiel. Nous allons calculer tous les éléments de cet appareil, ainsi que les frais qu'il occasionnerait, afin de mettre les fabricants à même de juger si les circonstances locales le rendent avantageux.

La quantité d'eau contenue dans la colle en gelée est très-irrégulière; elle varie, suivant la qualité, des $\frac{2}{3}$ aux $\frac{5}{6}$; en admettant le premier résultat, qui correspond aux colles communes, pour obtenir 100 kilogr. de colle sèche il faudrait évaporer 200 kilogr. d'eau. Supposons que l'on veuille évaporer 1000 kilogr. d'eau en vingt-quatre heures, ce qui correspond à la fabrication de 500 kilog. de colle sèche. Mais remarquons d'abord que cela ne veut pas dire que 500 kilogr. de colle seront séchés en un jour, ce serait probablement une opération trop prompte; la dessiccation complète aura une durée qui dépendra de la quantité de matière

renfermée dans le séchoir; par exemple, si le séchoir contenait 4500 kilogrammes de colle en gelée, l'opération durerait évidemment trois jours. C'est à l'expérience à décider quelle est la durée du séchage la plus convenable; cet élément n'influera d'ailleurs que sur la capacité du séchoir, et sur la quantité de matière qu'on y accumulera.

Supposons maintenant que l'air extérieur soit à une température moyenne de 10°, et qu'il soit complétement saturé d'humidité. 1 mètre cube d'air à 10°, saturé de vapeur d'eau, en contient $9^g,7$; par conséquent la quantité d'air sec qui devra passer dans le séchoir dans 24 heures, en négligeant la petite différence qui existe entre le volume de l'air sec et celui de cette même quantité d'air saturé, sera $1000 : 0,0097 = 103092^{m.c.}$.

La quantité de chaux vive nécessaire à la dessiccation de l'air serait au moins de 2000 kilogr., pour qu'à la fin de l'opération elle conservât encore une action hygrométrique suffisante.

1342. Examinons maintenant les procédés de ventilation. Le mouvement de l'air peut être produit de deux manières différentes : 1° par l'emploi de la chaleur; 2° par une action mécanique. Nous les décrirons toutes deux avec les détails nécessaires.

Le tirage artificiel produit par la chaleur s'exécuterait en plaçant à l'extrémité du séchoir et en dehors une cheminée communiquant avec un foyer qui serait alimenté par l'air du séchoir, et qui servirait d'appel. La cheminée devrait avoir une grande hauteur, et on fixerait la température que l'air y prendrait, de manière que la vitesse d'écoulement ne fût pas trop influencée par les vents.

Supposons, par exemple, que la cheminée ait 10 mètres de hauteur, et que la température moyenne de l'air chaud excède de 20° seulement celle de l'air extérieur. La dépense d'air par seconde sera, $103092 : 86400 = 1^m,2$. En assimilant la résistance que l'air éprouve en passant à travers la chaux, à celle qu'il éprouve en traversant la grille d'un foyer, et en négligeant la résistance de l'air à travers le séchoir, le diamètre de la cheminée sera déterminé par la formule

$$D^5 = \frac{A^2(13D+0,05L)}{2gHat} \ldots \qquad (406)$$

dans laquelle il faut faire $L = H$, $t = 20$ et $A = 1,2$: on trouve alors

$D = 0^m,36$. Ainsi la section de la cheminée sera de $0^m,13$; mais il serait convenable de la porter au moins à 0,20, en garnissant son sommet d'un appareil destiné à préserver le tirage de l'influence des vents.

Quant à la quantité de houille que le tirage par la chaleur exigerait, elle serait évidemment égale à

$$\frac{103092 \times 1^k,3 \times 20}{4 \times 7500} = 89^k,33.$$

Mais nous la supposerons de 100 kilogr. pour compenser la perte de chaleur par les parois de la cheminée, et le défaut de saturation complète de l'air.

La dépense qu'exige ce mode de séchage se composerait donc : 1° de 2000 kilogr. de chaux vive qui serait réduite en grande partie à l'état d'hydrate ; 2° de 100 kilogr. de houille. Mais comme la chaux qui aurait servi, serait aussi bonne pour les constructions et pour tous les autres usages que la chaux vive, on pourrait la vendre avec une très-petite perte. Ainsi la dépense se réduirait au prix de 100 kilogr. de houille, qui à Paris est à peu près de 5 francs.

Si on voulait employer une action mécanique pour produire le tirage, la machine la plus simple serait le ventilateur à force centrifuge, placé avant ou après le séchoir. D'après ce que nous avons vu (1151) un homme, dans un travail de 6 heures, peut évacuer 70,000 mètres cubes d'air avec une vitesse de 5 mètres par seconde. La quantité d'air à faire sortir en 24 heures étant de 103092 mètres, on voit qu'un seul ventilateur de même dimension que celui qui est représenté dans les figures 3 et 4 (pl. 48), appellerait dans 24 heures 280,000 mètres cubes d'air : ainsi, en supposant la journée d'un ouvrier de 3 francs, un travail presque triple de celui qui est nécessaire ne coûterait que 12 francs.

Il résulte de là, comme nous l'avons déjà dit, que la ventilation par les machines est à meilleur marché que la ventilation par l'air chaud, quoique la vitesse de l'air chaud ait été supposée beaucoup plus petite. Si on construisait des ventilateurs d'un plus grand diamètre, en donnant à l'air une vitesse beaucoup plus petite, on pourrait facilement obtenir un effet double avec la même dépense de travail.

Dans ce mode d'opération, la chaleur absorbée par la transformation de l'eau en vapeur, est fournie par le corps lui-même qui doit être séché,

et finalement par les corps environnants. On voit alors qu'il est important que l'opération marche lentement, car, s'il n'en était pas ainsi, l'air se refroidirait, et la quantité de vapeur entraînée diminuerait.

1343. Reste maintenant à donner quelques explications sur la disposition des appareils.

La figure 1re (pl. 66) représente la coupe verticale de l'appareil destiné à dessécher l'air. Il est formé de deux caisses A et B, en maçonnerie, adossées à la muraille d'un des bouts du bâtiment, garnies de plusieurs étages de lattes en bois qui supportent les morceaux de chaux vive. Elles sont fermées en avant par des portes (fig. 2) qui laissent à leur partie inférieure des ouvertures par lesquelles l'air s'introduit. A la partie supérieure, ces caisses communiquent avec une caisse longitudinale CC, garnie de registres qui permettent de distribuer uniformément l'air. A l'autre extrémité du séchoir se trouvent (fig. 3) des orifices nombreux, également garnis de registres, qui communiquent avec la cheminée d'appel. La figure 4 représente une coupe transversale de cette cheminée. Une partie de l'air alimente le foyer; l'autre passe à côté, et se trouve échauffée par son mélange avec l'air brûlé.

Quant à la disposition du séchoir et à l'arrangement des matières à sécher, il faut surtout satisfaire à cette condition, que l'air suive avec la même facilité tous les chemins qu'il doit parcourir pour opérer la dessiccation, et que l'étendue du séchoir et la quantité de matière qui s'y trouve renfermée soient en rapport avec la durée que doit avoir l'opération. Il est évident qu'il serait important de disposer les tuyaux d'arrivée et de départ de l'air de manière que l'on pût faire entrer l'air sec successivement par les deux extrémités du séchoir.

1344. Les figures 5 et 6 (pl. 66) représentent une coupe verticale suivant xx', et une coupe horizontale suivant yy', d'un séchoir à air desséché par du chlorure de calcium et mis en mouvement par deux ventilateurs à force centrifuge. L'air extérieur s'introduit par les ouvertures A dans les caisses en bois B, garnies de cadres couverts de toiles métalliques, sur lesquelles repose le chlorure de calcium; à la partie inférieure de chacune des caisses se trouve un vase en fer C qui reçoit le chlorure liquéfié, et le conduit dans le vase mobile D; l'air est appelé par deux ventilateurs E, E, montés sur le même axe, mis en mouvement par un moteur quelconque, et qui le versent dans le séchoir. A

l'extrémité opposée se trouve la cheminée d'écoulement de l'air humide. L'emploi du chlorure de calcium serait très-convenable si on pouvait disposer de la chaleur perdue d'un fourneau pour le ramener à l'état solide.

§ 8. — SÉCHAGE DANS LE VIDE.

1345. Si on plaçait dans un espace vide, une substance humide et un corps très-hygrométrique, la dessiccation s'effectuerait d'elle-même. L'appareil devrait être disposé de manière que le liquide pût facilement recevoir de la chaleur des corps environnants.

1346. La dépense de ce mode de séchage consisterait dans le prix de l'action mécanique nécessaire pour former et maintenir le vide, et celui de la dessiccation ou du renouvellement de la matière absorbante. Les matières que l'on pourrait employer sont la chaux, le chlorure de calcium, l'acide sulfurique concentré, etc.

1347. Ce mode de séchage présenterait de grands avantages pour la dessiccation des viandes, qui pourraient alors être conservées très-longtemps sans perdre aucune de leurs propriétés; mais il faudrait d'abord les dessécher aussi complétement que possible au moyen d'un courant d'air forcé.

M. Gay-Lussac a fait à cette occasion une expérience importante que nous allons rapporter. Il avait suspendu un morceau de bœuf sous le récipient d'une machine pneumatique, au-dessus d'une capsule renfermant du chlorure de calcium; il fit le vide sous la cloche; la viande se dessécha complétement; deux mois après elle fut employée à faire du bouillon qui était fort agréable : la viande n'était pas coriace et se coupait très-bien.

CHAPITRE XIII.

CHAUFFAGE DE L'AIR.

1348. Le chauffage de l'air peut avoir lieu par son mélange avec les produits de la combustion, par le rayonnement des foyers, par les poêles, par les cheminées-poêles, par des calorifères à air chaud, par des calorifères à vapeur, par des calorifères à eau chaude à basse température, et enfin par des calorifères à eau chaude à haute température. Nous examinerons successivement ces différents modes de chauffage.

§ 1. — CHAUFFAGE DIRECT PAR LA COMBUSTION.

1349. Ce mode de chauffage dénature l'air, le rend impropre à la respiration, et ne peut être employé que dans des circonstances très-limitées, dans le séchage de certaines substances, dans le chauffage de certaines étuves, et pour produire des ventilations artificielles. Il exige des combustibles qui ne donnent pas de fumée; de plus, il est extrêmement dangereux et peut occasionner de graves accidents.

Ce mode de chauffage est cependant le premier que l'on ait imaginé pour les habitations, et il est encore généralement usité en Espagne. A Paris on voit souvent, dans les petits logements, des fourneaux de cuisine sans cheminée, non-seulement au-dessus des fourneaux, mais même dans l'appartement. Ce qui contribue à propager cet usage dangereux, c'est le préjugé assez généralement répandu que la combustion de la braise ne produit aucun des funestes effets du charbon.

1350. Les fabricants de cierges et de bougies chauffent encore leurs bassines avec des fourneaux à charbon, placés au milieu de l'atelier, qui souvent n'a pas de cheminée.

1351. En 1806 tous les hongroyeurs de Paris, et certainement tous

ceux du reste de la France, échauffaient l'étuve dans laquelle on passe les cuirs au suif, au moyen d'un foyer à charbon de bois sans issue pour l'air brûlé ; et la quantité de charbon consommée était considérable, car la température de l'étuve était portée à 50 ou 60°. Les ouvriers étaient cependant obligés de séjourner dans cette étuve remplie d'acide carbonique, mais il arrivait souvent de graves accidents. Ce ne fut qu'avec beaucoup de peine et par des expériences qui démontrèrent combien le chauffage par des poêles est plus économique et plus salubre, qu'on parvint à leur faire adopter ce nouveau mode de chauffage. (*Bulletin de la société d'encouragement,* tome V, p. 67.) Les ateliers d'étirage de la laine sont encore dans le même cas.

1352. Pour faire voir combien cet usage peut être dangereux, rappelons-nous qu'un kilogramme de charbon, en brûlant, convertit en acide carbonique la totalité de l'oxygène renfermé dans 9 mètres cubes d'air ; mais l'air devient impropre à la respiration quand il ne renferme plus que le tiers de l'oxygène qu'il contenait d'abord ; d'où il suit que la combustion de 1 kilogr. de charbon rend irrespirables 27 mètres cubes d'air. Ainsi l'air d'un appartement clos, de 4 mètres de longueur, sur 4 de largeur et 3 de hauteur, et renfermant $3 \times 4 \times 4 = 48$ mètres cubes de capacité, serait rendu impropre à la respiration et asphyxierait les hommes qui le respireraient, par la combustion de $1^k,74$ de charbon. Mais c'est principalement dans des habitations beaucoup plus petites que cet usage pernicieux est établi, et où par conséquent l'air peut être vicié par une quantité de charbon beaucoup plus petite.

Nous n'avons parlé, dans ce qui précède, que de l'influence de l'acide carbonique, mais la combustion du charbon donne toujours lieu à la production d'une quantité plus ou moins considérable d'oxyde de carbone, dont l'action délétère sur l'économie animale est bien autrement grande que celle de l'acide carbonique, car l'air qui renferme un centième de ce gaz occasionne presque immédiatement la mort des animaux à sang chaud, comme M. Félix Leblanc l'a démontré récemment par des expériences décisives.

1353. Ainsi le chauffage direct de l'air par les combustibles doit être proscrit dans toutes les circonstances où les hommes doivent séjourner dans l'air échauffé. Il peut cependant être employé, comme nous l'avons dit, dans les séchoirs et les étuves, lorsque les appareils sont disposés de

manière à faire évacuer l'air vicié par la combustion avant que les ouvriers s'y introduisent.

§ 2. — CHAUFFAGE DE L'AIR DES APPARTEMENTS PAR LE RAYONNEMENT DU COMBUSTIBLE.

1354. On a fait beaucoup de recherches pour savoir si les anciens faisaient usage des cheminées. Les maisons découvertes à Herculanum et à Pompéia n'en offrent point. Ainsi on doit présumer qu'à l'époque de la destruction de ces deux villes on ne connaissait pas encore les cheminées en Italie, et qu'on se servait alors de foyers ouverts et portatifs. Les palais paraissent avoir été chauffés à cette époque par des fours placés au-dessous du rez-de-chaussée, dont la chaleur se distribuait dans la masse des bâtiments; et aussi par des foyers fixes ouverts de tous les côtés, établis au milieu des pièces, et dont la fumée s'échappait par un orifice percé dans le toit. Ces deux modes de chauffage devaient exiger une énorme quantité de combustible.

Au temps de Sénèque, on commença à pratiquer des tuyaux dans les murs, pour porter la chaleur dans les étages supérieurs; il est probable que c'est là l'origine des tuyaux destinés à recevoir la fumée.

1355. L'époque à laquelle il faut placer l'origine des cheminées est assez incertaine; les auteurs du quatorzième siècle semblent ne les pas connaître, ou du moins ils n'en parlent que comme d'une invention nouvelle et d'un objet de luxe. D'après cela, on peut présumer que jusqu'à cette époque les cheminées n'étaient pas connues, ou du moins n'étaient pas d'un usage général.

La date la plus ancienne et en même temps la plus certaine où il ait été question des cheminées, est l'année 1347. Une inscription trouvée à Venise apprend que cette année un tremblement de terre renversa un grand nombre de cheminées. Les premiers ramoneurs qui vinrent en France, étaient originaires de la Savoie, du Piémont et des autres pays circonvoisins. Ces contrées ont été pendant longtemps les seules où le métier de ramoneur fut pratiqué; d'où l'on peut conjecturer que les cheminées ont été inventées en Italie.

1356. L'usage des poêles est très-répandu dans le Nord, tandis qu'en France et dans la Grande-Bretagne on préfère les foyers découverts,

Dans les parties les plus chaudes de l'Espagne et de l'Italie, on voit très-peu de cheminées; le seul moyen de tempérer le froid, souvent très-vif pendant certains jours d'hiver, consiste à brûler du charbon de bois dans des foyers portatifs.

1357. On donna d'abord à l'ouverture des foyers découverts et aux tuyaux à fumée une grandeur démesurée; cette disproportion des ouvertures des foyers est encore conservée dans les campagnes, et partout les tuyaux ont encore une trop grande section.

1358. Une trop grande ouverture du foyer, et une trop grande section dans le canal destiné à conduire la fumée, ont de très-graves inconvénients. La ventilation est énorme, et par conséquent les courants d'air froid qui s'introduisent par les jointures des portes et des fenêtres acquièrent une trop grande vitesse, et peuvent être nuisibles. Cette masse d'air froid qui afflue du dehors vers le foyer refroidit tellement l'appartement, qu'il n'y a qu'une très-petite proportion de chaleur utilisée. Enfin la vitesse de l'air dans la cheminée étant très-petite à cause de son grand diamètre, le tirage est facilement influencé par les vents, et il s'établit souvent dans la cheminée, deux courants opposés qui occasionnent le dégagement de la fumée dans la pièce.

Les grandes ouvertures de foyers et les grandes sections de cheminées ont été abandonnées dans les villes depuis longtemps; mais celles qui ont été conservées sont encore beaucoup trop considérables, et les foyers actuels ont encore, en partie du moins, les inconvénients des anciens.

1359. Rumfort fut le premier qui améliora la construction des foyers; il rétrécit l'orifice de communication avec la cheminée, diminua la profondeur du foyer, et le termina latéralement par des murs inclinés. Ces foyers, connus généralement sous le nom de cheminées à la Rumfort, sont beaucoup plus avantageux que les anciens; la quantité d'air non brûlé qui passe dans le tuyau à fumée étant beaucoup plus petite que pour les foyers ordinaires, la température de la fumée est plus élevée, elle se répartit d'une manière plus uniforme dans le canal, et l'ouverture supérieure étant rétrécie, les doubles courants ne s'y établissent pas aussi facilement; la combustion est aussi beaucoup plus vive, parce que la vitesse de l'air à l'orifice est beaucoup plus grande, et que l'air affluent est mieux dirigé sur le combustible, ou du moins sur la flamme. Nous avons déjà dit que le rétrécissement de l'ouverture inférieure

d'une cheminée ne diminue la dépense totale à l'orifice supérieur que par les frottements qui se manifestent dans l'étranglement, et par la contraction de la veine fluide. Il résulte de là, que si l'ouverture supérieure de la cheminée restait toujours très-large, la ventilation ne serait pas à beaucoup près diminuée, dans la proportion du rétrécissement de l'orifice inférieur, et que ces cheminées pourraient encore être soumises à l'influence des vents; mais en les rétrécissant à l'extrémité supérieure, on y établit une grande vitesse, et les chances de fumée deviennent très-petites; elles pourraient même être nulles, si on garnissait la partie supérieure de l'un des appareils que nous avons décrits dans le premier volume.

1360. La diminution de la profondeur du foyer et le rétrécissement latéral par des murs inclinés, sont évidemment très-favorables à la réflexion de la chaleur, et sont avantageux sous le rapport de l'économie du combustible.

Souvent on construit les murs latéraux et le mur incliné supérieur avec des briques couvertes d'un vernis blanc, afin de réfléchir dans la salle une plus grande quantité de chaleur. Jusqu'à ces derniers temps l'émail des plaques de faïence qu'on employait à cet objet, avait l'inconvénient grave de se gercer très-promptement. Mais M. Pichemont est parvenu à faire disparaître cet inconvénient et à construire des plaques beaucoup plus grandes que celles qu'on avait pu établir avant lui. On emploie aussi, pour le même objet, des plaques de laiton polies.

1361. On a ensuite employé une disposition plus avantageuse encore; l'ouverture de communication du foyer avec la cheminée est réglée au moyen d'une plaque mobile autour d'un axe, qu'on maintient dans différentes positions à l'aide d'une crémaillère. Par ce moyen on peut régler à volonté le tirage de la cheminée.

1362. Plus récemment, on a imaginé de brûler le combustible dans des foyers mobiles en fonte, qu'on avance dans la pièce lorsque le tirage de la cheminée est bien établi.

1363. Dans d'autres appareils, pour diminuer la quantité d'air appelé par la cheminée, l'orifice par lequel l'air brûlé entre dans la cheminée, est placé derrière le combustible.

1364. Tous ces appareils ont pourtant encore un grand inconvénient; l'air appelé par la cheminée est uniquement fourni par les fissures des

portes et des fenêtres; de là, des courants d'air froid, ou de la fumée quand ces fissures ne présentent pas une surface suffisante.

1365. On emploie aussi des tuyaux placés dans l'intérieur même de la cheminée, et qui vont puiser l'air froid à l'endroit où la cheminée traverse le toit. Ces tuyaux portent le nom de ventouses. Ordinairement les ventouses viennent s'ouvrir à la partie supérieure de l'encadrement du foyer. Elles ont l'inconvénient de produire un froid très-vif sur les pieds des personnes qui environnent la cheminée; de ne pas renouveler l'air de la pièce, parce que l'air frais est appelé de suite dans le foyer; et rarement elles suffisent à la ventilation, car les tuyaux des ventouses, le plus souvent, n'ont pas la dixième partie de la section de la cheminée. Franklin avait imaginé de prendre l'air à l'extérieur, et de le faire arriver par un tuyau placé sous le parquet, en avant du foyer. Cette disposition a encore l'inconvénient de refroidir beaucoup le parquet, ce qui est très-incommode dans les appartements dont le sol n'est pas couvert d'un tapis, et d'ailleurs elle ne renouvelle pas l'air de la pièce.

1366. On a encore imaginé une disposition plus avantageuse, et qui procure une économie considérable de combustible. Immédiatement au-dessus du foyer se trouve un canal formé de tuyaux de tôle ou de fonte dans lesquels passe la fumée, et qui se prolonge jusqu'à la hauteur du plafond, où l'extrémité supérieure s'engage dans le tuyau de cheminée; les tuyaux sont renfermés dans une caisse qui reçoit l'air extérieur par la partie inférieure; l'air s'échauffe contre la surface des tuyaux, s'élève dans la caisse, sort par des ouvertures placées près du plafond, et sert ensuite à la respiration et à la combustion. Cet appareil est évidemment beaucoup plus avantageux que tous les autres, car la ventilation est régulière, elle a lieu par de l'air chaud, et la chaleur employée à chauffer cet air est complétement perdue dans les cheminées ordinaires. Mais cette disposition est compliquée. Dans d'autres appareils les tuyaux sont placés horizontalement, immédiatement au-dessus du foyer; ils sont chauffés extérieurement par la flamme et par l'air brûlé, et parcourus intérieurement par l'air avant qu'il pénètre dans la pièce.

1367. Telles sont les principales modifications qui ont été faites jusqu'ici aux cheminées. Afin de les apprécier à leur juste valeur, de connaître quel est l'effet utile du combustible produit par ces différents appareils, et la nature des perfectionnements qui restent encore à faire, nous

allons traiter la question d'une manière générale, en examinant avec soin les conditions à remplir, et les différentes manières d'y satisfaire.

1368. Le chauffage par les foyers découverts a pour objet de laisser voir le feu. Cette vue du feu est devenue presque un besoin ; on lui sacrifie, dans les appareils ordinaires, une grande quantité de combustible; mais, quelque cher qu'il soit, on ne s'en privera pas, et ce qu'il y a de mieux à faire, c'est d'effectuer aussi bien que possible, avec cette condition, le chauffage et la ventilation. D'ailleurs c'est le seul mode de chauffage qu'on puisse employer dans les pièces qui ont de petites dimensions, tous les autres, comme nous le verrons, ne produisant pas un renouvellement d'air suffisant.

1369. Dans le chauffage des appartements, les conditions nécessaires à remplir sont : 1° la production d'une certaine température ; 2° le renouvellement de l'air ; 3° l'emploi le plus utile du combustible ; 4° l'absence complète de fumée dans les pièces chauffées.

1370. *Mode de renouvellement de l'air.* Le renouvellement de l'air dans les appartements ne doit pas être fondé sur les défauts des jointures des portes et des fenêtres, à cause de l'irrégularité, de l'incertitude de la ventilation, et des courants d'air froid qui se produisent. Il est plus convenable et plus sûr de régler la ventilation, par des ouvertures pratiquées à une fenêtre et que l'on puisse augmenter ou diminuer à volonté. Les ventouses sont aussi préférables à la ventilation par les portes, mais il faut qu'elles aient des dimensions suffisantes, et qu'elles soient placées de manière à renouveler l'air de la pièce. Toutes celles que l'on a employées jusqu'ici ont un diamètre beaucoup trop petit : leur section devrait peu différer de celle de la cheminée ou de l'orifice supérieur, quand ce dernier a un diamètre plus petit que la cheminée; et toujours elles ne paraissent disposées que pour alimenter le foyer.

Mais dans tous les cas il est plus avantageux et plus économique de chauffer l'air avant son introduction dans la pièce. La disposition la plus convenable consiste à faire communiquer la ventouse avec un tuyau qui s'élève jusqu'à la hauteur du plafond, et verse l'air chaud dans la chambre. Par ce moyen on obtient un effet utile du combustible beaucoup plus grand, parce que l'air est chauffé par la chaleur perdue.

1371. *Dimension des tuyaux.* Il ne faut pas espérer ici de calculer les dimensions des tuyaux, comme celles des cheminées des fourneaux et des

poêles, parce que la quantité d'air qui, dans les foyers découverts, échappe à la combustion, varie non-seulement suivant la disposition du foyer, mais encore suivant la nature, la quantité, l'arrangement du combustible, et suivant l'époque de la combustion. On peut cependant admettre, qu'en général, dans presque tous ces foyers, le volume d'air appelé est au moins de 100 mètres cubes par kilogramme de bois; c'est le résultat d'un grand nombre d'expériences faites sur différentes cheminées, dont plusieurs étaient disposées de la manière la plus favorable pour diminuer le volume de l'air qui échappe à la combustion. Pour les dimensions des tuyaux, il faut uniquement s'en rapporter à l'expérience. On a reconnu que pour les cheminées des appartements ordinaires, une ouverture circulaire de $0^m,20$ à $0^m,25$ de diamètre est presque toujours suffisante. Il est rarement avantageux de dépasser cette limite, et dans ce cas, il est toujours convenable de garnir la cheminée d'un registre, afin d'en diminuer la section quand cela est nécessaire. Il n'y a cependant aucun inconvénient à avoir de larges cheminées, pourvu qu'on les rétrécisse suffisamment par les deux extrémités; cependant si le diamètre était d'une grandeur excessive, il pourrait y avoir un grand refroidissement de l'air par les parois, et par conséquent une grande diminution de vitesse; et même, il pourrait arriver que le mouvement de l'air n'eût pas lieu dans toute la section, alors la dépense d'air diminuerait considérablement. Pour les grands appartements, surtout pour les pièces qui sont destinées à réunir un grand nombre de personnes, et dans lesquelles, par conséquent, la ventilation doit être très-grande, on donne ordinairement aux cheminées $0^m,25$ de section.

1372. Les cheminées communes à plusieurs foyers n'ont jamais aucun avantage et présentent souvent de graves inconvénients. Lorsque quelques-uns seulement sont allumés, le tirage est diminué par l'appel d'air froid qui a lieu dans les autres, et dans certaines circonstances, d'autres foyers peuvent appeler l'air de la cheminée commune. Ainsi, c'est une disposition qu'il faut toujours éviter.

1373. *Disposition des foyers.* On doit toujours rétrécir autant que possible l'ouverture du foyer, afin de diminuer le volume d'air qui pénètre dans la cheminée sans traverser le combustible. La forme et la nature des surfaces qui encadrent l'orifice du foyer, sont absolument sans influence sur l'effet utile produit. La cheminée doit être pourvue

d'un registre destiné à modérer le tirage. Les foyers mobiles permettent d'utiliser beaucoup mieux le combustible.

1374. *Choix du combustible.* La seule chaleur utilisée dans les foyers ordinaires, est celle qui provient du rayonnement; par conséquent, les combustibles les plus avantageux sont ceux qui ont un grand pouvoir rayonnant. D'après ce que nous avons dit (276), les plus mauvais sont ceux qui brûlent avec flamme; le bois est le plus mauvais de tous : la houille et le coke sont infiniment préférables.

1375. L'ouverture d'une cheminée ordinaire laisse passer dans l'appartement à peu près un quart de la quantité totale de chaleur rayonnée par le combustible; or, nous avons vu que les quantités de chaleur rayonnante émises par les différents combustibles (262), sont :

Pour le bois, 0,25 de la chaleur totale développée.

Pour le charbon de bois, 0,50.

Pour le charbon de tourbe, 0,50.

Ainsi la quantité de chaleur utilisée dans les foyers chauffés par le bois, est égale à peu près à 0,06 de celle qui est développée par la combustion. Si les parois du foyer étaient construites avec des matières ayant un grand pouvoir réflecteur, l'effet produit serait beaucoup augmenté. Mais on obtiendra de meilleurs résultats en employant du coke et de la houille qui ont un plus grand pouvoir émissif. Le coke serait préférable à la houille, parce qu'il ne donne pas de fumée et qu'il est d'un usage presque aussi économique.

En 1805, les membres du comité consultatif firent des expériences nombreuses pour déterminer les effets utiles produits par les différents modes de chauffage domestique. Dans les mêmes circonstances extérieures, on a maintenu l'air d'une salle à la même température pendant le même temps, au moyen de différents appareils dans lesquels on brûlait le même combustible, et on a mesuré la quantité de combustible consommé par chacun d'eux. Voici les résultats obtenus. En désignant par 100 la quantité de combustible brûlé dans une cheminée, celle qui a été consommée dans un poêle métallique était de 13, et elle a varié de 13 à 16 dans des appareils analogues aux poêles, mais à foyers ouverts. On ne peut rien déduire de certain des résultats obtenus, car ces nombres doivent nécessairement varier avec la ventilation produite et l'étendue des surfaces de chauffe des appareils comparés à la cheminée. Mais

ils suffisent pour faire voir combien l'effet utile des cheminées ordinaires est faible.

Après ces considérations générales, nous allons donner la description des différentes formes de cheminées les plus employées.

1376. *Anciennes cheminées et cheminées de Rumfort.* Les figures 1, 2 et 3 (pl. 66), représentent l'élévation, la coupe au niveau du sol, et une coupe verticale des anciennes cheminées. Les figures 4, 5 et 6 représentent l'élévation, le plan et une coupe transversale d'une cheminée de Rumfort. L'inspection seule des dessins suffit pour les faire comprendre. On donne ordinairement de $0^m,04$ à $0^m,06$ de section à l'ouverture inférieure du tuyau à fumée. Pour faciliter le ramonage par des enfants, le contre-cœur est souvent formé de briques réunies seulement par de la terre crue.

1377. On voit dans les figures 7 et 8 l'élévation, et une coupe verticale, d'une cheminée garnie d'un registre mobile *ab*, qu'on place et qu'on maintient dans différentes positions au moyen d'une tige *cd* articulée sur le registre, et garnie de petits orifices au moyen desquels on maintient la tige en les accrochant à un petit clou fixé dans la partie latérale de l'enveloppe du cadre du foyer.

La figure 9 est la coupe d'une cheminée garnie d'un registre mobile, placé au-dessus de la partie supérieure du cadre du foyer, et que l'on fait mouvoir par différents moyens.

1378. *Cheminée à houille et à coke.* Les figures 10 et 11 représentent l'élévation et une coupe d'une cheminée à houille. Les jambages sont disposés comme dans la cheminée de Rumfort, et le combustible est placé dans une grille formée de barreaux fixés dans les murs latéraux du foyer. *ab* est un tablier mobile autour de la charnière *cc*, et qu'on abaisse devant la grille pour allumer le combustible. Dans cette position, tout l'air appelé par la cheminée passe nécessairement à travers le foyer, et le tirage est beaucoup augmenté. On emploie souvent des tabliers qui ne font point partie de la devanture de la cheminée, et qu'on accroche à un clou devant le foyer quand on veut allumer le combustible. Le rétrécissement des jambages est indispensable pour brûler le coke ou la houille, parce que, sans cela, le tirage serait très-faible, la combustion serait languissante, et pour la houille il pourrait se dégager de la

fumée. Souvent les grilles sont à fleur des chambranles des cheminées, comme dans la figure 12.

1379. *Foyers à anthracite.* En Amérique, on brûle de l'anthracite sur des grilles disposées comme nous venons de l'indiquer. Nous rapporterons à cette occasion un passage du mémoire de M. M. Chevalier sur l'anthracite d'Amérique, dont nous avons déjà parlé :

« L'anthracite offre le plus commode des chauffages. Dans les appartements, où on le brûle sur des grilles assez semblables à celles usitées en Europe pour la houille grasse, on n'a à le remuer que deux ou trois fois par jour, pour qu'il soit constamment embrasé. On allume le feu au commencement de novembre, et il brûle sans interruption, nuit et jour, jusqu'au mois de mai; il suffit, le matin, de l'attiser avec le ringard, pour qu'il se remette à flamber. Les domestiques, qui aux États-Unis ont voix délibérative dans les affaires du ménage, le préfèrent à tout autre combustible, parce qu'il leur donne infiniment moins de peine. Dans chaque maison, le salon (*parlour*), pièce où la famille se réunit et reçoit les visites, a une grille sur laquelle est un feu d'anthracite en permanence. Les chambres à coucher ont de même de petites grilles. Dans quelques maisons riches de Philadelphie, cependant, on a des calorifères à anthracite. Les grilles ne diffèrent guère de celles qui sont employées pour la houille, que par un plus fort tirage. A cet effet, on réduit à une simple fente de 3 à 4 centimètres, d'ailleurs de la même largeur que la grille, l'ouverture par laquelle la fumée, ou plutôt les gaz produits par la combustion, se rendent dans la cheminée. La fente est ménagée à fleur du mur; la paroi du fond du foyer va de là, en s'inclinant, rejoindre le couronnement de la grille qui est, comme à l'ordinaire, placée dans un enfoncement du mur.

« Les foyers sont en briques réfractaires, ou, mieux encore, garnis d'une pierre talqueuse qu'on trouve en blocs considérables près de Philadelphie. Le fer ne vaudrait rien pour cette destination; il est indispensable à la bonne combustion de l'anthracite qu'il soit entouré de corps peu conducteurs. On donne à ces foyers peu de profondeur, à peu près la moitié de leur largeur seulement. La grille fait un peu saillie en avant du mur.

« On allume en peu d'instants un feu dans la grille en y plaçant de l'anthracite, quelques copeaux, et en recouvrant l'ouverture entière du

foyer avec un écran en tôle, appelé souffleur (blower), qui se suspend à un clou placé au-dessus du foyer, et qui s'applique exactement contre le mur sur les deux côtés et au-dessus de la grille. L'air n'ayant plus alors accès vers la grille qu'en dessous, on crée ainsi un fort tirage qui active la flamme des copeaux, et, lui faisant traverser l'anthracite dont la grille a été chargée, embrase celui-ci. »

1380. *Cheminées à ventouses.* Les figures 13 et 14 (pl. 67) représentent la coupe d'une cheminée à la Rumford et à ventouse. L'air, ordinairement pris dans un grenier ou sur les toits, ou dans la face du bâtiment, descend par un canal placé dans l'intérieur de la cheminée, et vient sortir dans l'appartement entre les deux tabliers fixes AB et A'B'. Telle est la disposition le plus fréquemment employée. Elle a plusieurs inconvénients : 1° la ventouse ayant une section beaucoup trop petite, ainsi que l'ouverture d'écoulement de l'air dans l'appartement, il en résulte que l'air a une très-grande vitesse devant le foyer, où il forme une nappe froide très-incommode, et la ventilation est insuffisante; 2° par la mauvaise disposition de l'orifice, la ventouse ne renouvelle pas l'air de l'appartement, car celui qui en sort alimente directement le foyer.

Cependant, comme ce mode d'appel d'air extérieur est très-facile à établir, on doit chercher à le modifier de manière à ce qu'il ne produise que de bons effets. Pour cela il faudrait : 1° donner aux ventouses une section beaucoup plus grande : cette section devrait être au moins de 2 décimètres carrés pour des appartements de moyenne grandeur; 2° faire arriver l'air froid au sommet de l'appartement, vers le plafond, afin que l'air de la chambre soit réellement renouvelé. Mais il serait beaucoup plus avantageux de chauffer l'air de ventilation aux dépens de la chaleur perdue par l'air brûlé.

1381. *Cheminée de l'Homond.* Cet appareil (fig. 15, 16 et 17, pl. 67) se compose de trois tablettes en stuc inclinées vers le contre-cœur de la cheminée; elles laissent au milieu une ouverture rectangulaire de 0,50 de hauteur sur 0,45 de largeur. Cette ouverture se ferme par un tablier mobile (fig. 18), composé de deux volets : celui qui est à la partie inférieure est soutenu par deux chaînes qui passent sur des poulies latérales et qui supportent des contre-poids; ce volet entraîne le premier en descendant lorsqu'il l'a découvert entièrement, et en remontant lorsqu'il l'a

couvert complétement, et cela au moyen d'un arrêt du premier volet placé à sa partie supérieure, et de deux arrêts fixés à la partie supérieure et à la partie inférieure du second. Entre le tablier et le contre-cœur, il y a seulement un intervalle de 15 centimètres; à une hauteur de 0,30, le contre-cœur porte des briques inclinées, maintenues par des barres de fer transversales qui rétrécissent le passage de l'air brûlé, de manière à ne laisser qu'une ouverture de 5 centimètres de largeur. Ces briques, qui sont seulement posées sur les tringles, s'enlèvent pour le ramonage. Le feu se fait dans la chambre, et rarement ces cheminées fument. Mais elles ont un trop grand tirage, elles consomment beaucoup de combustible et produisent une trop grande ventilation.

1382. *Cheminées à foyer mobile.* Les figures 19 et 20 (pl. 67) représentent l'élévation et une coupe verticale de la première disposition des foyers mobiles. Cet appareil se compose d'une caisse en fonte *abc*, ouverte en avant et mobile sur quatre galets qui roulent sur deux tringles de fer fixés sur le sol du foyer. Le foyer mobile est placé dans une caisse en tôle ouverte en avant, et derrière sur une étendue *de*, par laquelle s'échappe l'air brûlé; sur la partie supérieure de cette caisse se trouve un tablier en tôle articulé, terminé derrière par deux chaînes qui supportent le contre-poids *f*, et en avant par un bouton. C'est au moyen de ce tablier articulé qu'on diminue à volonté l'orifice d'accès de l'air dans le foyer. On enfonce le foyer et on abaisse le tablier pour allumer le feu, et quand le combustible est bien embrasé, on relève le tablier et on tire le foyer en avant. Depuis, on a disposé ces appareils d'une autre manière ; le tablier est placé comme dans l'appareil de l'Homond, et il y a dans la cheminée un registre qu'on fait mouvoir à l'aide d'un petit bouton placé à côté du chambranle de la cheminée.

1383. *Cheminées de Millet.* Dans cette cheminée, l'auteur a eu pour objet de faire varier le tirage par le mouvement d'un registre placé devant le combustible, comme dans plusieurs appareils décrits précédemment, et de régler par le mouvement des mêmes pièces l'orifice d'admission de la fumée dans la cheminée. Les figures 1 et 2 (pl. 68) représentent, la première, l'élévation, et la seconde, une coupe verticale de l'appareil dont il est question. *abc* est un encadrement en cuivre ou en fonte qui s'emboîte exactement entre les chambranles et le manteau d'une cheminée ordinaire. *d,e,f* sont des plaques métalli-

ques ou de faïence qui réunissent l'encadrement *abc* avec celui du foyer. *g*, cadre du foyer. *hh*, boîtes verticales à coulisse, dans lesquelles montent et descendent les plaques *i*,*k*, placées l'une derrière l'autre en avant du foyer, et qu'on abaisse plus ou moins pour régler la quantité d'air qui alimente la combustion. Le bois est placé derrière ces plaques, et aussitôt qu'elles sont abaissées de manière à ne laisser qu'une issue étroite à l'air, le tirage s'établit et le feu s'allume. En les relevant ensuite pour ralentir la combustion, on rétrécit l'ouverture supérieure *l* par où s'échappe la fumée; mais on ne peut jamais la fermer entièrement; pour diminuer la ventilation de l'appartement lorsque le bois est réduit en braise, M. Millet dispose deux petits verrous qui soutiennent les plaques à la plus grande hauteur possible. Les dimensions de l'orifice sont telles, que la fumée ne peut pas se répandre dans l'appartement, du moins quand le tirage est bien établi. Le mouvement ascensionnel des plaques est facilité par un contre-poids *m* logé dans un renfoncement *n* de la boîte de fonte *o*, et suspendu à une chaîne *p* qui, après avoir passé sur la poulie *q*, vient s'attacher par un crochet à un piton de la plaque *k*; celle-ci est munie, à son bord inférieur, d'une patte *s* qu'on saisit avec la pincette. Le contre-poids *m* fait équilibre au poids des plaques dans toutes leurs positions. Quand on lève la plaque *k*, son bord supérieur venant à rencontrer le bord saillant *t* de la plaque *i*, entraîne celle-ci dans son mouvement ascensionnel. Lorsque, au contraire, on abaisse la plaque *k*, en appuyant sur la patte *s*, elle descend seule d'abord et entraîne ensuite avec elle la plaque *i*. La partie principale de l'appareil est une capote en fonte *o* dont le fond est incliné en avant à partir de sa base; ses deux côtés sont recourbés à angle droit, de manière à former une boîte ouverte par-devant; ses arêtes latérales sont munies de deux bandes qui s'emboîtent dans celles *g*,*g*, pour former les coulisses *h*,*h*, dans lesquelles montent et descendent les plaques *i*,*k*. Le renfoncement qui reçoit le contre-poids est fermé par une plaque *x* munie d'une poignée *y* pour la saisir. Deux petites pattes tournantes la retiennent en place. Lorsqu'on veut nettoyer la cheminée, on décroche la chaîne, le contre-poids descend au fond de sa boîte; après avoir enlevé les plaques *i*,*k*, on rejette la capote en arrière en saisissant la poignée *y*, et le ramoneur trouve suffisamment de place pour s'introduire dans la cheminée.

1384. Dans cette disposition, le foyer est trop encaissé, et l'abaissement du tablier diminue le champ du rayonnement du combustible placé derrière. La suivante, également due à M. Millet, n'a pas ces inconvénients. Cette nouvelle cheminée est formée, comme l'ancienne, d'une boîte en fonte qui se raccorde avec le cadre de l'ouverture du foyer; mais elle a beaucoup moins de profondeur; de sorte qu'une très-grande partie du combustible est placée en avant et rayonne librement dans la pièce. La caisse est percée à sa partie supérieure d'une fente qui règne dans toute sa longueur; le fond est percé d'une ouverture rectangulaire de 10 à 12 centimètres de hauteur, de la longueur de la caisse, dont le bord inférieur est placé à 15 ou 16 centimètres du sol, et qui peut être fermée en totalité ou en partie par un volet de fonte placé derrière. Ainsi la fumée peut s'écouler dans la cheminée, par l'orifice long et étroit de la partie supérieure de la caisse du foyer, ou par l'ouverture variable à volonté du fond de cette caisse. Le tablier ne sert que pour activer la combustion quand on allume le feu, et il n'est point indispensable; le volet du fond du foyer sert à régler l'activité de la combustion quand elle est établie; et enfin l'orifice long et étroit du sommet de la caisse donne issue à la fumée qui échappe à l'appel de l'ouverture, et à la totalité de la fumée quand le volet est complétement fermé. Par cette disposition, la combustion est plus parfaite que dans les cheminées où l'air pénètre en totalité dans le tuyau d'écoulement par la partie supérieure du foyer; la quantité d'air qui pénètre dans la cheminée excède peu celle qui est nécessaire à la combustion; enfin, la combustion peut être rendue active ou languissante sans qu'on fasse varier l'amplitude du rayonnement du combustible.

Les figures 3, 4 et 5 (pl. 68) représentent, la première, l'élévation; la seconde, une coupe verticale; la troisième, une coupe horizontale de cette nouvelle cheminée. ABCD *abcd*, devanture formée de trois plaques métalliques cintrées; les trois grands côtés AB, BC et CD se raccordent avec le chambranle de la cheminée; les trois petits côtés encadrent le foyer. *ef*, tablier mobile servant à fermer plus ou moins le cadre du foyer. Il reste en équilibre dans toutes les positions, à l'aide du contre-poids P fixé à une chaîne attachée au tablier, et qui passe sur la poulie fixe *g*. *hi*, ouverture pratiquée dans le contre-cœur, et que l'on ferme plus ou moins à l'aide du volet *kl*. La position de ce volet se règle

au moyen de la poignée *m*; cette dernière, mobile autour de l'axe horizontal *n*, porte au point *p* deux chaînes, dont l'une, après s'être enroulée sur la poulie fixe *q*, supporte le poids *r*, et dont l'autre s'enroule sur les poulies fixes *s* et *t*, et s'attache à un crochet *u* fixé au volet; le contre-poids *r* est destiné à maintenir le volet dans une position quelconque. La figure 6 représente l'ouverture par laquelle s'écoule la fumée qui ne passe pas à travers l'orifice *hi*. Cette ouverture diminue de hauteur à mesure qu'on élève le tablier; mais elle n'est jamais complétement fermée, même quand le tablier est au point le plus élevé de sa course. La figure 7 est une vue du volet.

1385. La figure 8 est une disposition équivalente à celle que nous venons de décrire, qui présenterait les mêmes avantages et qui est beaucoup plus simple. Des registres tournants à frottement dur dans des coussinets, et que l'on dirigerait par des boutons fixés aux extrémités des axes et sur une des faces latérales des chambranles, permettraient de faire écouler l'air brûlé par la partie supérieure ou par la partie inférieure du foyer; et un tablier disposé comme dans la figure 18 (pl. 67), permettrait d'augmenter le tirage au commencement de la combustion.

1386. *Cheminées dans lesquelles on utilise une partie de la chaleur de l'air brûlé.* La disposition la plus simple pour utiliser une partie de la chaleur perdue par l'air brûlé est représentée en élévation et en coupe, figures 9 et 10 (pl. 68). Le combustible repose sur une caisse en fonte *abcd*, d'une petite hauteur, fermée de toute part, excepté sur la face antérieure où la fonte est remplacée par une toile métallique à mailles très-larges. Au fond de la caisse, vers le contre-cœur de la cheminée, s'élèvent plusieurs tuyaux en fonte *mn*, qui se recourbent et viennent s'ouvrir dans la pièce à la hauteur de la partie supérieure du cadre du foyer. L'air de la pièce pénètre dans la caisse par le devant du foyer, s'échauffe dans les tubes et sort par leurs orifices libres.

1387. La figure 11 représente une disposition qui produit le même effet. La partie supérieure du foyer est traversée par des tuyaux horizontaux, autour desquels l'air brûlé est obligé de circuler pour se rendre dans la cheminée. Ces tuyaux communiquent par un bout avec une caisse latérale en tôle qui s'ouvre par sa partie inférieure dans la chambre; par l'autre, avec une caisse semblable qui s'ouvre dans la pièce par sa partie supérieure.

1388. Les figures 12 et 13 représentent un appareil analogue. Le foyer est formé d'une double caisse ouverte en avant pour former l'entrée du foyer, et à la partie supérieure pour permettre à l'air brûlé de s'échapper dans la cheminée ; *ab* et *ef* sont des toiles métalliques à larges mailles ; *cd*, un registre mobile; *m*, un gros tuyau que l'air brûlé est obligé d'entourer pour se rendre dans la cheminée ; il aboutit aux deux faces latérales de la caisse. L'air de la pièce entre dans l'intervalle des deux caisses par l'orifice *ab*, s'élève entre les deux fonds, entre les deux parois latérales, circule en partie dans le tuyau, et sort dans la pièce par l'orifice *ef*.

1389. Ces différents appareils augmentent beaucoup l'effet utile du combustible; mais ils seraient incomparablement plus efficaces si les caisses dans lesquelles pénètre d'abord l'air froid étaient en communication avec l'air extérieur, de manière que la totalité de l'air appelé par la cheminée fût obligée de traverser l'appareil ; on obtiendrait dans la pièce une température beaucoup plus élevée. La figure 14 (pl. 68) représente une disposition qui satisfait à ces conditions.

1390. On voit, figure 15 (pl. 68), un appareil plus simple que les précédents et qui remplit le même but. Dans cette disposition, la cheminée est adossée à un mur isolé. Le contre-cœur est percé de plusieurs ouvertures qui reçoivent des tuyaux de tôle qui s'élèvent parallèlement dans la cheminée et qui débouchent dans la pièce près du plafond. Les tuyaux se démontent pour le ramonage. Leur section doit peu différer de celle qui reste libre dans la cheminée. Pour éviter le démontage annuel des tuyaux, on pourrait faire rendre l'air extérieur d'abord dans une ou deux caisses placées latéralement de chaque côté du foyer, et les faire communiquer avec une série de petits tuyaux appliqués contre la face antérieure de la cheminée ; le ramonage pourrait s'exécuter sans déranger les tuyaux. On pourrait évidemment remplacer les tuyaux par une caisse en tôle.

1391. Un autre appareil plus simple encore est représenté figure 16 (pl. 68); l'air brûlé monte dans un tuyau de tôle ou de fonte, et l'air extérieur s'élève autour de lui. Le ramonage de la cheminée, du moins de la partie de la cheminée dans laquelle se trouve le tuyau de chauffage, ne pourrait être fait que par le moyen d'une corde et d'un petit fagot.

1392. Les figures 17 et 18 représentent une disposition analogue ap-

pliquée à un foyer à houille. L'air brûlé s'élève dans un tuyau de tôle placé dans une niche, qui, après plusieurs circuits de bas en haut, s'engage dans un canal en maçonnerie qui le conduit dans la cheminée. La niche est fermée en avant par une plaque surmontée d'une toile métallique. La plaque s'enlève pour le ramonage des tuyaux. Il ne faudrait pas placer dans la niche des petits tuyaux verticaux dans lesquels l'air brûlé s'élèverait simultanément, parce que l'air pourrait n'en parcourir que quelques-uns.

1393. On peut modifier ces appareils de mille manières; les conditions à remplir sont : de disposer les surfaces de chauffe de manière qu'elles soient efficaces ; de donner une section suffisante aux veines d'air; et enfin de rendre les tuyaux et les joints suffisamment étanches, pour que l'air brûlé, souvent chargé de fumée, ne se mêle pas à l'air chaud. — Nous renvoyons pour tous les détails relatifs à ces différents objets, au paragraphe réservé aux calorifères.

1394. Les appareils dont nous venons de parler, qui ont pour but d'utiliser une partie de la chaleur perdue, présentent tous quelques difficultés pour le ramonage des cheminées, car il faut pour cette opération enlever complétement tout ce qui obstrue le passage, ou du ramoneur, ou du fagot d'épines qu'on doit promener dans la cheminée. L'appareil figure 16 est exempt de cet inconvénient; mais il serait difficile de s'assurer que le joint supérieur est constamment étanche, d'ailleurs, cette disposition ne serait praticable que dans la construction d'une maison. Les meilleurs appareils seraient ceux qui renfermeraient à la fois la devanture, les surfaces de chauffe, le tablier et le registre, qui se poseraient dans une cheminée en appliquant les bords de l'appareil contre les bords d'un cadre fixe posé à demeure dans le chambranle d'une cheminée, et sur lequel on le maintiendrait par trois ou quatre tourniquets; l'appareil s'enlèverait d'une seule pièce, pour le ramonage, et se replacerait avec une grande facilité.

1395. Les figures 19, 20, 21 et 22 (pl. 68) représentent un appareil qui satisfait à ces conditions. La première est une vue de l'appareil ; la fig. 20 est une coupe verticale faite par le milieu ; la figure 21, une coupe horizontale suivant YY′ (fig. 20); et la figure 22 une autre coupe horizontale suivant XX′ (fig. 20).

L'appareil se compose d'une caisse en tôle A′B′CD (fig. 21 et 22),

dont la face antérieure AA′BB′ s'ajuste sur le chambranle de la cheminée ; cette caisse est ouverte à la partie inférieure et enveloppe le canal qui amène l'air extérieur. Ses bords inférieurs sont garnis de lisière qui leur permet de s'appliquer exactement sur le sol. La face antérieure est percée d'une ouverture supérieure L, garnie d'une toile métallique par laquelle l'air extérieur échauffé se rend dans la chambre ; d'une ouverture M qui forme l'orifice du foyer, et qui est garnie d'une porte à coulisse, et enfin d'un grand nombre d'orifices *p,p*, placés près du sol, qu'on peut ouvrir ou fermer à la fois, plus ou moins, au moyen d'une ou de deux plaques glissant dans des rainures ; les bords de la plaque de devant sont garnis d'arrêts au moyen desquels la caisse peut être fixée solidement. Cette caisse en renferme une autre plus petite, en fonte, *abcd* (fig. 22), *adef* (fig. 20), qui sert de foyer ; elle est ouverte en avant, et garnie à sa partie supérieure d'un orifice pourvu d'un registre tournant *r*, et d'un tuyau *t* qui conduit l'air brûlé dans la cheminée. Les faces latérales de la caisse du foyer sont traversées par des plaques *m*, *m*, venues à la fonte, et qui se prolongent en dedans et en dehors. L'air extérieur arrive au-dessous du foyer par un canal *o*.

On voit que, par cette disposition, l'air extérieur appelé par la cheminée s'échauffera en passant successivement sous le foyer et entre les deux caisses, où il rencontrera les prolongements des plaques de fonte chauffées par la flamme et le rayonnement du combustible, et qu'il pénétrera dans la pièce par la grille qui couvre l'orifice L. Les orifices *p,p* sont destinés à introduire dans l'appareil l'air de la pièce, dans le cas où la section du canal d'appel serait trop petite.

1396. *Cheminées qui fument.* Les cheminées, telles qu'on les construit ordinairement, laissent souvent dégager de la fumée dans les appartements. Cet inconvénient est très-grave ; il a donné naissance à une industrie spéciale, exercée par des individus qu'on désigne sous le nom de fumistes ; les fumistes sont pour la plupart des ouvriers ignorants, mais à qui une longue expérience a fait connaître quelques moyens préservatifs, qui réussissent quelquefois.

1397. Les causes qui font fumer les cheminées, et les moyens d'y remédier, ont été décrits avec beaucoup de précision par Franklin ; nous les exposerons sommairement en y faisant quelques additions.

1398. La première cause qui peut produire de la fumée, est le défaut

de ventilation, ou seulement la difficulté de l'introduction de l'air extérieur dans l'appartement. On conçoit en effet qu'il doit entrer constamment dans la pièce un volume d'air égal à celui qui s'élève dans la cheminée ; par conséquent si la pièce est exactement fermée, la fumée ne pouvant pas sortir sans y produire un vide partiel, se répandra dans l'appartement lui-même ; ainsi tout se passera comme s'il n'y avait pas de cheminée. Cependant il arrive presque toujours qu'une certaine quantité de fumée monte dans la cheminée ; cet effet provient d'un double courant qui s'établit dans le canal ; l'air extérieur descend dans l'appartement par une partie de la cheminée, tandis que la fumée s'élève par l'autre ; mais ces deux courants n'étant point séparés, le courant descendant entraîne toujours avec lui une certaine quantité de fumée qui se répand dans la pièce.

Cette cause aura évidemment une influence d'autant plus grande, que l'appartement sera plus petit, que les portes et les fenêtres joindront plus exactement, et que le diamètre de la cheminée sera plus considérable.

Quand la fumée est produite par la cause que je viens de signaler, on peut y remédier, 1° en diminuant la quantité d'air qui s'écoule par la cheminée, 2° en favorisant la ventilation extérieure, 3° par l'un et l'autre de ces moyens. On diminuera toujours la dépense d'air par la cheminée en rétrécissant ses deux orifices. Mais comme il faut principalement diminuer l'appel de l'air qui n'est point employé à la combustion, on devra rétrécir l'ouverture du foyer. La disposition la plus convenable est celle de Rumfort ou celle à tablier mobile.

Quant à la ventilation extérieure, on pourra l'établir, comme nous l'avons déjà dit, ou au moyen d'un vasistas, ou par une ventouse, ou par un canal placé sous le parquet. On pourra chauffer l'air appelé ou le laisser entrer à la température extérieure. Cette cause de dégagement de fumée est la plus générale ; je n'ai jamais vu d'appartements dans lesquels les appels d'air extérieur aient des dimensions suffisantes.

1399. La seconde cause de dégagement de la fumée réside dans une trop grande ouverture du foyer ; il en résulte qu'une très-grande quantité d'air échappe à la combustion, abaisse la température de la fumée, diminue par conséquent la vitesse du courant qui, n'étant plus suffisante pour évacuer la fumée qui se dégage, en laisse refluer une partie

dans l'appartement. Le seul remède efficace consiste dans le rétrécissement permanent du foyer, latéralement et supérieurement, et dans l'emploi d'un tablier mobile.

1400. La troisième cause provient d'une trop petite élévation du canal, qui produit une trop petite vitesse d'ascension de la fumée. Il faut alors exhausser le canal, et rétrécir le foyer de manière à diminuer l'appel de l'air qui n'alimente pas la combustion. On obtient ainsi un double effet; l'air de la cheminée est plus chaud, par conséquent la vitesse devient plus grande, et la dépense a principalement lieu par l'air et la fumée qui sortent du foyer.

1401. La quatrième cause du dégagement de fumée résulte de l'action de plusieurs foyers les uns sur les autres, lorsqu'ils sont placés dans des appartements communiquants, n'ayant aucun mode direct de ventilation.

Si, plusieurs foyers étant disposés comme nous venons de le dire, on fait du feu dans un seul, l'air extérieur sera principalement appelé par les autres, attendu que l'air pénètre bien plus facilement et en bien plus grand volume par les cheminées que par les fissures capillaires des portes et des fenêtres. Si tous sont allumés et que la ventilation ne soit pas suffisante pour les alimenter tous, il arrivera nécessairement que celui dont le tirage est le plus fort, l'emportera sur les autres, et par conséquent que la fumée de ces derniers se répandra dans toutes les pièces. Un quelconque des foyers peut même faire fumer tous les autres, quoique son tirage soit plus petit, soit par une plus petite hauteur de la cheminée, soit par un plus grand diamètre de ce canal, soit parce que la quantité de combustible que l'on y consomme est plus petite; et pour cela, il suffit que ce foyer ait été allumé le premier, car aussitôt que la ventilation aura été établie, l'air aura dans les autres cheminées un mouvement de haut en bas, qui ne pourra que difficilement être détruit, attendu que le tirage d'une cheminée n'est à son maximum que quand tout le tuyau est rempli d'air chaud : par conséquent, si à l'origine il y a déjà un mouvement de l'air en sens contraire, il faudrait un foyer d'une grande activité, et une vitesse très-petite de l'air de haut en bas, pour que le tirage pût s'établir.

Le seul moyen de remédier alors à la fumée, consiste à donner à chaque pièce une ventilation suffisante, en diminuant l'appel de la che-

minée, et en établissant une introduction régulière et facile d'air extérieur.

1402. La cinquième cause de dégagement de fumée consiste dans la communication de plusieurs tuyaux de cheminée les uns avec les autres. Lorsqu'un tuyau d'un diamètre uniforme reçoit à une certaine hauteur un canal qui le pénètre, si le courant s'établit d'abord dans le dernier, la veine d'air qui en sort peut fermer l'autre comme une soupape. Il faut alors placer au-dessous de l'ouverture une plaque MNP (fig. 2, pl. 2), afin que le tirage se partage également entre les deux conduits.

Lorsque plusieurs cheminées communiquent, et que les tuyaux ont des diamètres convenables, l'appel a lieu par tous les embranchements, qu'ils fournissent ou non de l'air chaud. Il en résulte que si plusieurs ne donnent que de l'air froid, la température de l'air dans le canal commun est peu élevée, et par conséquent que le tirage dans chaque canal d'air chaud excède peu celui qui aurait lieu si ce canal débouchait dans l'air ; ainsi il se dégage de la fumée par une trop petite hauteur réelle du canal. Cette disposition est aussi très-favorable au refoulement de la fumée dans les pièces où l'on ne fait pas de feu, parce que, la vitesse étant très-petite dans le canal commun, un grand nombre de circonstances peuvent produire un courant de haut en bas dans leurs cheminées. On peut remédier au dernier inconvénient en établissant dans les cheminées des trappes que l'on fermerait quand on n'y fait pas de feu; ces trappes diminueraient même beaucoup les chances de fumée dans les pièces où l'on fait du feu, parce qu'il n'y aurait plus d'appel d'air froid dans la cheminée commune. Mais il serait difficile de disposer les trappes de manière qu'elles pussent fermer exactement les cheminées, et ce n'est qu'à cette condition qu'elles seraient efficaces.

1403. La sixième et dernière cause qui fait fumer les cheminées réside dans l'action du soleil ou des vents directs ou réfléchis. Alors il faut avoir recours aux appareils que nous avons décrits dans le premier volume.

§ 2. — CHAUFFAGE INTÉRIEUR PAR LES POÊLES.

1404. Les poêles sont des appareils d'économie domestique placés

dans l'intérieur des appartements; ils ont une capacité plus ou moins considérable, dans laquelle on brûle du combustible. L'air échauffé par la combustion se rend à la sortie du foyer, directement, ou après avoir fait différentes révolutions, dans un tuyau qui le conduit dans une cheminée. Les portes du foyer et du cendrier sont tantôt dans l'appartement, tantôt dans une salle voisine. Les poêles sont en tôle, en fonte de fer, en faïence ou en briques.

1405. On donne souvent aux poêles le nom de calorifères; mais nous réserverons cette dernière dénomination pour les appareils qui servent à chauffer de l'air pris à l'extérieur, pour le verser ensuite dans les pièces qui doivent le recevoir.

1406. Les poêles en métal, pour la même étendue de surface et la même quantité de combustible brûlé, refroidissent davantage la fumée que ceux qui sont en faïence ou en maçonnerie, parce que les métaux conduisent mieux la chaleur que ces dernières substances; ainsi les poêles en terre cuite doivent avoir plus de volume et plus de surface de chauffe que ceux en métal.

1407. Les poêles en métal s'échauffent rapidement et se refroidissent de même; ceux de maçonnerie et de faïence, au contraire, s'échauffent difficilement, mais une fois échauffés ils cèdent lentement leur chaleur et entretiennent longtemps une douce température.

1408. Dans les poêles en métal, il est avantageux que la combustion soit lente et permanente. Dans les poêles en terre cuite, il est utile qu'elle soit vive, et ne dure que le temps nécessaire pour échauffer la masse de maçonnerie, opération qu'on renouvelle à des intervalles plus ou moins éloignés. Dans ces derniers appareils, quand le combustible est consumé, on ferme avec soin la porte du cendrier et un registre placé dans le tuyau à fumée, afin d'éviter que le poêle ne soit traversé par un courant d'air qui le refroidirait infructueusement.

1409. On prétend que les poêles en fonte ou en tôle ont l'inconvénient de donner à l'air une mauvaise odeur et de le dessécher. L'odeur de l'air chauffé par un métal provient probablement de l'altération qu'éprouvent les matières pulvérulentes qui sont en suspension dans l'air, par le contact du métal dont la température est souvent très-élevée, et toujours supérieure, pour la même quantité de combustible consommée, à celle que prennent les parois d'un poêle en faïence ou en briques.

On peut facilement s'assurer qu'il existe en effet dans l'air une grande quantité de poussière, non-seulement par les dépôts qui se forment sur les surfaces qui restent longtemps immobiles, mais par la vue de cette poussière quand on laisse pénétrer un rayon solaire dans une chambre obscure ; la poussière est alors fortement éclairée et s'aperçoit facilement. Cependant, quelques expériences sembleraient indiquer que les métaux chauffés ont une odeur propre.

Quant à la dessiccation de l'air, on n'a jamais fait aucune expérience exacte à ce sujet, mais tout le monde sait que l'on est dans l'usage de mettre sur les poêles en fonte, des vases pleins d'eau pour fournir de la vapeur à l'air, et que les poêles en faïence paraissent ne pas exiger cette précaution. On assure que les poêles en fonte, indépendamment de l'odeur qu'ils donnent à l'air, provoquent des maux de tête, quand on n'emploie pas le moyen que nous venons d'indiquer pour saturer l'air d'humidité. Mais la dessiccation de l'air par les poêles métalliques n'est qu'apparente ; l'air ne paraît plus sec que parce qu'étant plus chaud il peut dissoudre davantage de vapeur, et par conséquent qu'il est d'autant plus éloigné du terme de saturation qu'il est à une température plus élevée. Si les poêles en faïence ou en briques ne paraissent pas produire le même effet, cela tient à ce qu'ils n'échauffent pas l'air au même degré. Au surplus, quand on considère que dans une grande partie de l'Europe on a l'habitude de se chauffer avec des poêles de fonte ou de tôle, on peut difficilement croire que leur usage soit réellement insalubre.

1410. En résumé, je ne regarde pas en général, le chauffage par les surfaces métalliques comme insalubre ; il peut devenir incommode parce que la température du métal est quelquefois très-variable, et il peut donner une odeur désagréable, et dessécher trop fortement l'air quand le métal est à une trop haute température ; mais on peut éviter tous ces inconvénients, comme nous le verrons plus tard.

1411. *Surfaces de chauffe.* Les surfaces de chauffe peuvent être disposées de trois manières différentes sous le rapport de l'effet qu'elles produisent. 1° Le canal dans lequel circule l'air brûlé peut être libre dans l'enceinte qu'il doit échauffer : c'est le cas des poêles simples sans circulation intérieure. 2° Ces tuyaux peuvent être placés dans une enveloppe de petites dimensions, dans laquelle circule l'air qui doit être échauffé : c'est le cas des surfaces de chauffe des poêles à circulations

intérieures. 3° Enfin, les tuyaux peuvent être chauffés extérieurement par l'air brûlé et parcourus par l'air qui doit être échauffé. Toutes ces circonstances se rencontrent dans les calorifères à air chaud comme dans les poêles, et tout ce que nous dirons sera applicable à ces deux espèces d'appareils.

1412. *Surfaces de chauffe exposées à l'air libre, dans l'enceinte qui doit être échauffée.* Pour un même tuyau parcouru par de l'air brûlé, on peut admettre, du moins sans erreur sensible pour la pratique, que la quantité de chaleur transmise est proportionnelle à la différence des températures intérieure et extérieure.

1413. D'après ce que nous avons dit (706), quand le canal qui conduit l'air brûlé est métallique, la nature du métal et son épaisseur sont sans influence sur la transmission; mais la nature et l'état de la surface extérieure doivent en avoir une très-grande, parce que le refroidissement du métal a principalement lieu par le rayonnement, et que la partie du refroidissement qui est due au contact de l'air est indépendante de l'état de la surface. Ainsi, le fer-blanc ne conviendrait pas comme surface de chauffe, à moins qu'il n'eût été recouvert d'une peinture noire; la substance qui doit être préférée à toutes les autres est la fonte, et ensuite la tôle.

1414. Pour des tuyaux d'un diamètre constant, formés de la même matière, et parcourus par un courant d'air brûlé, à la même température à l'entrée, et animé de la même vitesse, il n'est pas douteux que la direction du tuyau n'ait une certaine influence sur le refroidissement du courant, attendu que cette direction modifie les mouvements de l'air chaud qui ont lieu dans d'autres directions que celles du tuyau : mouvements qui résultent du refroidissement des couches d'air en contact avec les surfaces métalliques; mais l'expérience indique que ces différences sont assez petites.

On en concevra facilement la raison en examinant les phénomènes qui se passent dans les cas extrêmes. Remarquons d'abord que dans les poêles et dans les calorifères il y a deux choses à considérer, l'absorption de la chaleur par la surface intérieure, et le refroidissement par la surface extérieure, et que l'absorption a uniquement lieu par le contact de l'air brûlé avec la surface métallique, tandis que l'échauffement de l'air extérieur a lieu et par le contact et par le rayonnement.

Considérons une surface horizontale supérieure au courant d'air brûlé ; c'est la position la plus favorable à son échauffement, mais c'est la plus défavorable au refroidissement extérieur, parce que les couches d'air en contact avec la surface se renouvellent difficilement. Si la surface est au contraire au-dessous du courant d'air brûlé, elle absorbe moins de chaleur que dans le cas précédent, parce que les couches d'air brûlé, après lui avoir communiqué une partie de leur chaleur, ne se déplacent que par suite du mouvement général, et restent en contact avec le métal à cause de leur plus grande densité ; mais la surface extérieure se trouve dans la circonstance la plus favorable à son refroidissement, parce que les couches d'air qui la touchent se renouvellent facilement. Aussi, dans un tuyau horizontal, la partie inférieure est toujours à une température moins élevée que la partie supérieure. Considérons maintenant un tuyau vertical ; ce cas paraît être le plus défavorable de tous, parce qu'il semble que les couches d'air qui touchent le métal intérieurement et extérieurement, ne doivent pas le quitter, et par conséquent qu'il doit peu s'échauffer, et par suite chauffer peu d'air par communication ; mais l'air extérieur étant à une plus haute température s'élève avec une plus grande vitesse, et l'inégale vitesse des filets d'air brûlé, parallèles à l'axe, qui résulterait de leur différence de température, si elle existait, doit nécessairement les mêler. Ainsi on voit que dans chaque cas particulier il y a des circonstances qui agissent dans des sens opposés, et cette considération jointe à celle-ci, que le refroidissement par le rayonnement est beaucoup plus considérable que celui qui est dû au contact de l'air, font comprendre qu'il doit réellement y avoir bien peu de différence dans les effets produits par des tuyaux diversement inclinés.

Cependant si un tuyau vertical avait une grande hauteur, et si l'air extérieur n'était pas mis en mouvement par d'autre cause que celle qui résulte de son échauffement, le courant d'air chaud, en prenant une température croissante, absorberait toujours moins de chaleur et finirait par atteindre la température du tuyau et par réduire son refroidissement à celui qui résulte du rayonnement de sa surface.

1415. Il résulte de ce qui précède, qu'on peut admettre en général, pour la transmission de la chaleur à travers un tuyau, les résultats obtenus dans un cas particulier. Je vais rapporter quelques expériences faites sur des cheminées de différentes substances, qui permettent de déter-

miner avec une approximation suffisante pour la pratique, les quantités de chaleurs transmises à travers la tôle, la fonte, et la terre cuite.

1416. Une cheminée de tôle de 16 mètres de hauteur, et de $0^m,09$ de diamètre, ayant été montée sur un fourneau, j'ai déterminé la température de l'air au bas et au sommet, et j'ai mesuré directement la vitesse du courant par la méthode indiquée (315). Les résultats moyens de onze expériences, faites à des instants très-rapprochés, dans lesquelles la température au bas de la cheminée a varié de 270° à 287°, et la température au sommet de 75° à 79°, ont été les suivants :

Température au bas de la cheminée, 280°; température au sommet, 77°; température de l'air extérieur, 20°; vitesse moyenne de l'air chaud par seconde, 3 mètres; surface totale du tuyau, $4^m,52$.

La quantité totale de chaleur qui passait à travers la surface du tuyau, dans le temps qu'une colonne d'air, égale à la longueur du tuyau, mettait à le parcourir, était évidemment égale à la quantité de chaleur perdue par cette colonne d'air en se refroidissant de 280° à 77°; or, un volume d'air égal à celui de la cheminée $= 16^m . (0,09)^2 . \pi : 4 = 0^m,1017$; et son poids moyen $0^m,1017 \times 1,3 : (1 + 0,00365 \times 178) = 0^k,079$. La perte de chaleur $= 0,079 . 203 : 4 = 4$ unités de chaleur; et comme la durée de l'écoulement de la colonne d'air était de $5'',3$, il s'ensuit que $4^m,52$ de surface ont laissé passer 4 unités de chaleur dans $5'',3$, pour une différence moyenne de température de $178 - 20 = 158°$; et que par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de 1°, la quantité de chaleur qui passerait à travers la tôle serait de 3,93 unités. Mais en supposant que dans un poêle ou dans un calorifère la fumée soit abandonnée à 200°, comme autour du foyer sa température est au moins de 800°, la température moyenne de la fumée sera à peu près de 500°, et la différence de température de l'air brûlé et de l'air échauffé de 400 à 500°, alors nous admettrons que chaque mètre carré laisse passer de 1600 à 2000 unités de chaleur par heure.

1417. Clément a cité dans son cours, une expérience d'où l'on peut aussi déduire l'étendue de la surface de chauffe d'un calorifère. Un calorifère en tôle de $0^m,002$ d'épaisseur et de $6^m,70$ de surface, dans lequel on a brûlé 21 kilogr. de houille en trois heures et demie, a chauffé de 0° à 50°, 4200 mètres cubes d'air. Il résulte de là qu'un mètre carré de surface a échauffé par heure 179 mètres cubes d'air, et a laissé passer

une quantié de chaleur égale à 179.1,3.50:4 = 2908 unités. Ce nombre est beaucoup trop grand, et, par conséquent, l'air brûlé devait être abandonné à une température très-élevée; c'est ce qu'il est facile de reconnaître, en comparant l'effet produit par les 21 kilogr. de houille à celui qu'on pourrait obtenir. En effet, dans l'appareil dont il est question, on a obtenu 4200 × 1,3 × 50 : 4 = 68250 unités, par conséquent chaque kilogr. de houille a produit 68250 : 21 = 3250 unités de chaleur; tandis que l'on peut très-facilement obtenir de 5000 à 6000.

1418. J'ai fait aussi, sur des tuyaux de fonte, plusieurs expériences dont je vais rapporter les résultats moyens.

Hauteur de la cheminée de fonte, $16^m,50$; épaisseur du métal, 0,01; diamètre intérieur, 0,20; température au bas de la cheminée, 175°; température au sommet, 77°; température de l'air extérieur, 20°; vitesse par seconde $4^m,53$; surface totale du tuyau, $10^m,36$.

Le volume du canal = $16,5.(0,1)^2.\pi = 0,51$. Le poids d'un égal volume d'air à la température moyenne = 0,51.1,3 : (1 + 0,00365.126) = 0,45. La perte de chaleur pendant le temps de l'écoulement d'une colonne d'air ayant la longueur du canal, ou 3",64, est égale à 0,45.(175 — 77):4 = 11 unités. Ainsi 10,36 mètres carrés de surface ont laissé passer en 3",64, 11 unités de chaleur pour une température moyenne de 126°, et un excès moyen de 126 — 20 = 106. Ce qui correspond à 9,9 unités par mètre carré, par heure, et pour une différence de température de 1°. Alors, pour une différence moyenne de température, entre l'air brûlé et l'air échauffé, de 400 à 500 degrés, on peut compter que chaque mètre carré de surface de fonte laissera passer de 4000 à 5000 unités de chaleur.

La grande différence que nous avons trouvée entre la fonte et la tôle, pour la transmission de la chaleur, lorsque ces métaux sont chauffés par la fumée, n'existe plus quand ces métaux sont chauffés par l'eau ou la vapeur; la fonte transmet bien encore une plus grande quantité de chaleur que la tôle, mais la différence est faible. Il est difficile de se rendre compte de cette anomalie, car il semble que le refroidissement doit être indépendant du mode de chauffage. Cependant, comme il est bien démontré par les expériences de M. Melloni que les rapports des pouvoirs absorbants des corps varient avec la nature des rayons qu'ils reçoivent, il est très-probable qu'il en est ainsi des pouvoirs émissifs; d'ailleurs, comme dans le chauffage par la fumée, les enveloppes reçoivent beau-

coup de chaleur rayonnante émise par les matières solides en suspension, la différence dont il est question pourrait s'expliquer par une plus grande différence du pouvoir absorbant de la fonte et de la tôle sur l'espèce de chaleur qu'elles reçoivent. Au surplus, le coefficient de transmission de la fonte ne présente aucune incertitude, et si celui de la tôle était trop petit, il n'en résulterait qu'un faible inconvénient, car la tôle n'est jamais employée que dans les petits calorifères, et pour ces appareils il est peu important que la surface de chauffe soit un peu plus étendue, d'autant plus que le maximum de consommation de combustible n'y est jamais fixé.

1419. Des expériences analogues faites sur des tuyaux en terre cuite ont donné les résultats suivants :

Hauteur de la cheminée, 13 mètres; diamètre, $0^m,08$; épaisseur, 0^m01 ; température au bas de la cheminée, 260° ; température au sommet, 60° ; température de l'air extérieur, 20° ; vitesse d'écoulement de l'air chaud, $2^m,38$ par seconde.

La surface de la cheminée $= 3,27$. Le volume du canal $= 13.(0,04)^2.\pi = 0,0653$. Le poids d'un égal volume d'air à la température moyenne $= 0,0653.1,3:(1+0,00365.160) = 0^k,053$. La perte de chaleur pendant la durée de l'écoulement d'une colonne d'air ayant la longueur du canal, durée qui était de $5'',46$, est donc de $0,053.(260-60):4 = 2,65$ unités. Ainsi, $3^m,27$ de surface ont laissé passer pendant $5''46$, 2,65 unités de chaleur pour un excès moyen de température égal à $160-20 = 140°$; et par conséquent la quantité de chaleur qui serait transmise par mètre carré, par heure et pour une différence de 1°, serait égale à $2,65.3600:(5,46.3,27.140) = 3,85$, et pour des excès de température de 400 à 500°, les quantités de chaleur transmises seraient de 1500 à 1800 unités.

1420. En résumé, on peut déterminer la surface de chauffe des poêles et des calorifères, dans lesquels la surface extérieure est en contact avec l'air, en admettant que chaque mètre carré de surface de tôle laisse passer par heure de 1600 à 2000 unités de chaleur, la fonte de 4000 à 5000, et la terre cuite, de $0^m,01$ d'épaisseur, de 1500 à 1800 ; les tuyaux parcourus par la fumée ayant à peu près la section minimum de la cheminée calculée comme nous l'avons indiqué (406), et en supposant que le combustible produise un effet utile égal à 0,8 de sa puissance calorifique. Si on employait des surfaces beaucoup plus grandes, on utili-

serait mieux la chaleur, mais on pourrait craindre de ralentir le tirage, par un trop grand refroidissement de l'air brûlé, et par un trop long circuit. Si, au contraire, on prenait des surfaces moins étendues, l'air brûlé serait abandonné à une trop haute température, et l'effet utile du combustible serait plus petit. Si les tuyaux dans lesquels circule la fumée avaient un diamètre beaucoup plus grand que celui que nous avons supposé, il n'est pas douteux que la transmission de la chaleur serait beaucoup plus petite; qu'elle serait plus grande si les tuyaux avaient un diamètre beaucoup plus petit, et qu'il en serait ainsi lorsque la section restant la même, le rapport de son contour à sa surface augmente. Mais, comme nous l'avons déjà dit, les phénomènes qui se produisent sont si compliqués, qu'il est absolument impossible de les déduire de considérations théoriques, et des expériences à ce sujet présenteraient de très-grandes difficultés, sans donner des résultats bien importants pour la pratique, ceux que nous avons rapportés précédemment pouvant suffire dans presque tous les cas qui se présentent ordinairement.

1421. *Surfaces de chauffe placées dans l'enceinte du poêle ou du calorifère.* Au premier abord, ce cas ne paraît pas différer du premier, car, dans l'un et l'autre, la surface échauffée rayonne sur l'enceinte, et l'air s'échauffe par son contact avec la première et la seconde surface; il semble même que l'étendue de l'enceinte soit sans influence, car à mesure qu'elle devient plus petite, sa température s'élève, et cet accroissement de température doit compenser la diminution de son étendue. Mais dans les poêles et dans les calorifères les phénomènes ne se passent pas comme dans le refroidissement d'un corps placé dans une vaste enceinte, car, dans ce dernier cas, l'air chaud s'élève contre les surfaces de chauffe et descend contre les surfaces de l'enceinte, tandis que dans les poêles et les calorifères, l'air chaud marche dans le même sens contre les deux surfaces.

Ainsi, les phénomènes qui se passent dans le cas dont il est question, sont encore plus compliqués que ceux qui se produisent dans le refroidissement d'un tuyau à l'air libre, car le refroidissement de l'air brûlé dépend des mêmes circonstances, et le chauffage de l'air extérieur dépend de la section et de la direction des tuyaux dans lesquels il circule, de sa vitesse et de l'étendue de l'enveloppe. On voit d'après cela qu'il est impossible de déterminer, par des considérations théoriques, l'étendue des surfaces

de chauffe qu'il convient de donner aux poêles et aux calorifères dans le cas dont il s'agit maintenant. Mais l'expérience a démontré qu'on obtenait un effet utile suffisant du combustible consommé, en prenant pour les coefficients de transmission, les nombres que nous avons trouvés dans le premier cas.

1422. *Surfaces de chauffe chauffées extérieurement.* Les surfaces de chauffe dont il est question, sont celles des tuyaux ouverts qui traversent le foyer ou seulement les courants de fumée. Pour apprécier l'effet de ces surfaces sur l'air qui les parcourt, il faut remarquer 1° que le refroidissement de ces surfaces par le rayonnement est nul ; car les rayons émanés de chaque point des tuyaux sont reçus et absorbés par d'autres points, et ces rayons de chaleur échauffent peu l'air qu'ils traversent ; à la vérité, dans quelques dispositions il y a un peu de calorique rayonnant émis dans l'espace par une partie des extrémités des tuyaux, mais cette partie est en général très-petite, et par conséquent son effet peut être négligé ; 2° que la vitesse du courant d'air y est en général plus grande que si les surfaces étaient chauffées intérieurement et exposées à l'air.

Ces deux circonstances agissent en sens contraires, l'une pour diminuer, l'autre pour accélérer le refroidissement. Ainsi il est nécessaire d'examiner l'importance de chacune d'elles.

1423. Commençons d'abord par chercher le rapport qui existe entre le refroidissement par le contact de l'air, et le refroidissement par le rayonnement seul, pour les différentes substances que l'on peut employer.

1424. Dans un des mémoires de Petit et Dulong sur la chaleur, on trouve que pour un vase de verre à 120° plongé dans une atmosphère à 20°, la vitesse totale du refroidissement étant représentée par 4,99, celle due au rayonnement l'est par 2,72, et celle due au seul contact de l'air, par le nombre 2,27.

Nous avons vu que le refroidissement par le contact de l'air est indépendant de la nature de la surface refroidissante. Cette loi, jointe aux rapports connus des facultés rayonnantes des corps, nous permet de trouver pour tous, le rapport entre le refroidissement par rayonnement et le refroidissement par le contact de l'air dans les mêmes circonstances.

En effet, pour chaque corps, dans les circonstances de l'expérience que nous venons de rapporter, le refroidissement par le contact de l'air sera de 2,27, et le refroidissement par rayonnement sera égal à 2,72

multiplié par le rapport du rayonnement de ce corps à celui du verre. On trouve ainsi, au moyen du tableau (19), que les vitesses du refroidissement par rayonnement et par contact, pour les surfaces enduites de noir de fumée, pour le plomb brillant, le fer poli, l'étain, le fer-blanc, l'argent, le cuivre et l'or, sont représentées par les nombres suivants :

NOM DES SUBSTANCES.	VITESSE du refroidissement PAR RAYONNEMENT.	VITESSE du refroidissement par le seul CONTACT DE L'AIR.	VITESSE du refroidissement TOTAL.
Verre.	2,72	2,27	4,99
Noir de fumée.	3,02	2,27	5,29
Plomb brillant.	0,57	2,27	2,84
Fer poli.	0,46	2,27	2,73
Fer-blanc, cuivre, argent.	0,36	2,27	2,63

1425. On voit, d'après ce tableau, que pour les métaux brillants, la chaleur émise par le rayonnement étant à peine $\frac{1}{6}$ de celle qui est cédée à l'air par le contact, il y aurait peu de différence dans les effets produits par un chauffage intérieur et extérieur. Et si on suppose que pour les hautes températures et le chauffage par la fumée, la fonte et la tôle se comportent comme quand elles sont chauffées par la vapeur, leurs pouvoirs émissifs seront peu différents l'un de l'autre et de celui du noir de fumée; alors, par un chauffage intérieur, la quantité de chaleur transmise ne serait pas la moitié de celle qui se dégagerait si le tuyau était chauffé intérieurement et entièrement libre dans l'air.

1426. Dans ce qui précède, nous avons supposé que la vitesse de l'air était la même, sur la surface libre extérieure et dans l'intérieur du canal; mais il n'en est pas ainsi, car les circonstances sont très-différentes; suivant la grandeur de la section du canal que parcourt l'air dans le calorifère, et l'intensité de l'appel, la vitesse de l'air peut être plus grande ou plus petite, et dans les deux cas varier dans un sens ou dans l'autre; et d'ailleurs la nature du mouvement de l'air dans les deux cas est entièrement différente. Ainsi on ne peut rien dire de général, et il serait

impossible de calculer la hauteur que le canal devrait avoir, pour que l'accélération de la vitesse, en augmentant le refroidissement par le contact, compensât le refroidissement par rayonnement qui est presque nul.

1427. Cependant nous pouvons conclure de ce qui précède que, quand les tuyaux sont chauffés extérieurement et n'ont qu'une petite hauteur, ce qui est le cas le plus ordinaire, le refroidissement est beaucoup plus petit que quand la même étendue de surface est échauffée intérieurement. Dans les grands calorifères en fonte, on emploie des surfaces de chauffe deux ou trois fois plus grandes, quand les tuyaux sont chauffés extérieurement, que dans le cas contraire, c'est-à-dire, de 2 à 3 mètres carrés pour chaque kilogramme de houille à brûler par heure ; l'air brûlé est alors suffisamment refroidi.

1428. Mais on peut profiter en grande partie du rayonnement des surfaces intérieures en plaçant dans les tuyaux, des corps qui s'échauffent par le seul rayonnement de celles qui reçoivent l'action directe du foyer, et qui transmettent ensuite en grande partie cette chaleur, par le contact, au courant d'air. Alors on peut prendre les coefficients de transmission qui conviennent aux cas précédents. Cette disposition des surfaces de chauffe est même très-économique, car ces surfaces pouvant avoir une forme quelconque et devant être simplement posées dans les tuyaux de manière seulement à ne pas obstruer le passage de l'air, on peut employer des rognures de tôle qui seraient sans usage ; il est cependant plus avantageux que les surfaces de chauffe additionnelles soient formées de lames de tôle ayant la longueur des tuyaux et contournées de manière à former un certain nombre de tuyaux partiels ayant à peu près la même section.

1429. Il est important de remarquer qu'il en est des surfaces de chauffe des calorifères, comme de celles des chaudières à vapeur ; les variations d'étendue de ces surfaces portant toujours sur celles qui sont à l'extrémité de l'appareil, et où l'air brûlé est le plus refroidi, n'occasionnent que de petits changements dans l'effet utile du combustible. Supposons, par exemple, un canal de 10 mètres de longueur, recevant à une de ses extrémités de l'air brûlé à 800°, et l'abandonnant à l'autre à 200°, l'air extérieur étant chauffé à 100°. En supposant que le refroidissement ait lieu uniformément, les excès moyens des températures des 10 mètres courants sur l'air extérieur seront

670; 610; 550; 490; 430; 370; 310; 250; 190; 130.

Et les effets produits par 1, 2, 3, 4, ... 10 mètres seront représentés par les nombres

670; 1280; 1830; 2320; 2750; 3120; 3430; 3680; 3870; 4000.

Et en retranchant le dernier, les deux derniers, les trois derniers, les quatre derniers, les cinq derniers mètres, les pertes d'effet utile comparées à l'effet total sont représentées par les fractions

$$\frac{130}{4000};\ \frac{320}{4000};\ \frac{570}{4000};\ \frac{880}{4000},\quad \text{et}\quad \frac{1250}{4000};$$

ou par les nombres

0,032; 0,080; 0,142; 0,22 et 0,312.

Ainsi la suppression des trois dixièmes de la surface occasionnerait seulement une perte de 0,15. Il est facile de voir aussi qu'un accroissement même très-considérable dans l'étendue de la surface de chauffe ne produirait pas d'accroissement notable dans l'effet utile. Mais dans le plus grand nombre des calorifères, les effets produits par la même étendue de surface de chauffe, à mesure qu'elle s'éloigne du foyer, décroît suivant une loi encore plus rapide, parce qu'une grande partie de la chaleur rayonnée par le foyer est transmise par les surfaces qui l'environnent, et que la température moyenne de la fumée est moins élevée que nous ne l'avons supposée.

1430. *Des meilleures dispositions à donner aux surfaces de chauffe.* D'après ce que nous avons dit (1421, 1422), il est plus avantageux, sous le rapport de l'économie des surfaces de chauffe, de faire passer l'air brûlé dans l'intérieur des tuyaux qu'en dehors. La direction des canaux étant à peu près sans influence, cette direction ne pourra être déterminée que par des considérations particulières. Nous dirons seulement, qu'il ne faut pas placer un tuyau descendant immédiatement après le foyer, parce que le tirage au commencement ne pourrait s'établir qu'autant qu'on aurait échauffé la cheminée; et, qu'en général, il vaut mieux faire circuler l'air brûlé verticalement qu'hori-

zontalement, parce que, dans le premier cas, le tirage s'établit beaucoup mieux que dans le second.

1431. Des tuyaux aplatis seraient très-favorables au refroidissement de l'air brûlé, mais ils seraient plus difficiles à construire et à nettoyer que les tuyaux circulaires qu'on emploie ordinairement.

1432. Lorsqu'on environne un tuyau vertical, parcouru par de l'air chaud, d'un tuyau concentrique ouvert par les deux bouts (fig. 1re, pl. 69), on diminue le refroidissement dû au rayonnement, et on augmente celui qui provient du contact de l'air, attendu que la vitesse du courant d'air qui longe le tuyau est beaucoup accélérée. On conçoit, d'après cela, qu'un tuyau enveloppant puisse augmenter la vitesse du refroidissement d'un tuyau, surtout quand celui-ci a un faible pouvoir rayonnant, et que le tuyau enveloppant, comme l'indique la figure, se prolonge au delà du tuyau enveloppé, parce que le rélargissement de la veine d'air augmente sa vitesse dans la section annulaire. Mais cette disposition ne produirait un accroissement de refroidissement, qu'autant que l'augmentation de vitesse de l'air compenserait, et au delà, la diminution du refroidissement par rayonnement.

1433. On pourrait aussi placer dans l'intérieur du tuyau à fumée un tuyau ouvert par les deux bouts (fig. 2); cette disposition serait plus efficace que la précédente. Dans la figure 3, le tuyau à air enveloppe un tube ascendant et descendant parcouru par la fumée.

1434. Il ne faut jamais présenter à l'air brûlé plusieurs tuyaux qu'il doive parcourir simultanément en montant, parce qu'il ne se répartit pas dans tous, à moins que la somme des sections des tubes ne soit très-petite, et encore dans ce cas il ne les parcourt pas tous avec la même vitesse. Il n'en est pas ainsi quand l'air brûlé descend, il se distribue uniformément dans tous. C'est un fait bien constaté par l'expérience, et dont il est d'ailleurs facile de se rendre compte. Considérons un canal vertical qui se bifurque à une certaine hauteur; si l'air chaud passe d'abord dans une des branches, le tirage augmentera dans cette branche, et par conséquent, si sa section est suffisante, l'air chaud ne passera pas dans l'autre; mais si l'air chaud, après avoir monté d'abord, descend dans un canal qui se bifurque, le tirage sera plus petit dans la branche où l'air chaud passera d'abord; par conséquent, le courant s'établira aussi dans l'autre. On voit facilement d'après cela l'explication des phénomènes que pré-

sentent de gros tuyaux parcourus par l'air chaud de bas en haut et de haut en bas.

1435. Si on voulait refroidir l'air brûlé dans un très-petit espace, en lui faisant parcourir un chemin très-court, on pourrait faire descendre la fumée, simultanément par un grand nombre de petits tuyaux, qui seraient nus, ou environnés d'une enveloppe commune ouverte par les deux bouts.

1436. On a proposé récemment la disposition représentée figure 5 (pl. 69). Elle consiste en des vases lenticulaires, dont le centre est occupé par un cercle de tôle d'un diamètre un peu plus petit. L'auteur pensait que la fumée suivrait exactement toutes les surfaces; mais il n'en serait ainsi qu'autant que la fumée descendrait; dans ce dernier cas seulement cette disposition serait bonne, dans le cas contraire elle produirait peu d'effet.

1437. La meilleure disposition qu'on puisse employer consiste à faire circuler l'air brûlé dans un tuyau de fonte (fig. 6), dont la surface soit garnie de nervures nombreuses et rapprochées, se prolongeant en dedans et en dehors, et placées alternativement dans des plans différents; ce tuyau étant enveloppé d'un autre d'un plus grand diamètre, ouvert par les deux bouts et d'une suffisante hauteur, le refroidissement de l'air brûlé s'effectuerait très-rapidement. La figure 7 (pl. 69) représente une disposition analogue pour des tubes carrés.

1438. *Tuyaux d'écoulement de l'air brûlé dans la cheminée.* Le diamètre de ces tuyaux pourrait se calculer comme ceux des cheminées des fourneaux; mais il vaut mieux s'en tenir aux dimensions ordinaires, qui varient de 10 à 20 centimètres, suivant la quantité de combustible qui doit être brûlé. Ces dimensions sont très-grandes; mais elles sont nécessaires quand les tuyaux servent de surfaces de chauffe; et surtout quand on brûle de la houille, parce qu'alors des tuyaux d'un plus petit diamètre s'obstrueraient trop vite par la suie; d'ailleurs, comme ces tuyaux sont toujours garnis d'un registre, il est facile de modérer à volonté le tirage.

1439. Les tuyaux qui conduisent l'air brûlé à la cheminée peuvent avoir une direction quelconque; il n'y a aucun inconvénient à les faire descendre et remonter, car les changements de direction n'ont pas d'influence sensible sur le tirage.

1440. Les poêles permettent d'utiliser la totalité, ou du moins une

très-grande partie de la chaleur développée par le combustible; il suffit pour cela de produire d'abord le tirage, alors on peut refroidir complétement la fumée par des surfaces de chauffe suffisante, et sur lesquelles, au moins à la fin du trajet, l'air se meuve en sens contraire de l'air brûlé; la cheminée ne sert plus qu'à évacuer l'air brûlé et devient presque sans influence sur le tirage. Pour remplir cette condition, il suffit que le tuyau s'élève d'abord verticalement à une certaine hauteur, 2 mètres par exemple, en supposant que la fumée y soit à une température assez élevée, et qu'il descende ensuite ou chemine horizontalement; le tirage sera d'autant plus grand dans le premier cas, que le refroidissement de la fumée sera plus complet.

1441. *Des foyers.* Les foyers des poêles chauffés avec le bois n'ont ordinairement point de grilles; c'est une circonstance désavantageuse, parce que beaucoup d'air échappe à la combustion, et diminue la température de la fumée. Cela n'arrive pas lorsque le bois est supporté par une grille, parce que l'air est obligé de traverser le combustible qui la recouvre, et il est même plus épuisé d'oxygène à la fin de la combustion qu'au commencement, parce qu'alors la grille est couverte de braise. A la vérité, par cette disposition, la combustion est plus vive, mais on peut toujours la régler au moyen d'une clef qui se trouve dans le tuyau à fumée. Lorsque les poêles sont chauffés avec de la houille ou du coke, les foyers sont toujours garnis d'une grille, parce que ces matières ne brûleraient pas sans cela.

1442. *Choix du combustible.* Tous les combustibles peuvent être employés pour chauffer les poêles, parce que ces appareils sont peu sujets à fumer. Le choix dépend donc uniquement de leur prix. Le tableau (262) fera facilement connaître ceux qui sont les plus avantageux. Cependant, pour les poêles métalliques, les combustibles qui brûlent lentement sont préférables à ceux qui brûlent rapidement; et c'est le contraire pour les poêles en terre cuite.

1443. Il est évident, d'après ce qui précède, que tous les poêles dont les foyers sont construits de manière à ne laisser échapper que peu d'air non altéré par la combustion, peuvent donner les mêmes résultats, c'est-à-dire avec la même quantité de combustible, échauffer la même quantité d'air, lorsque les surfaces de chauffe ont une étendue suffisante; parce qu'alors la perte de chaleur est uniquement mesurée par la tem-

pérature de l'air à son entrée dans la cheminée, et qu'on est toujours maître, quelle que soit la construction du poêle, d'abaisser cette température, en allongeant les tuyaux à fumée. Cependant les poêles dans lesquels le tirage a lieu pendant le chauffage, c'est-à-dire dans lesquels la fumée s'élève d'abord verticalement à une certaine hauteur, sont les seuls dans lesquels, avec un développement suffisant de surface de chauffe, on puisse complétement refroidir la fumée. Dans tous les autres on peut abaisser la fumée à peu près à 100°, et réduire la perte à moins de 0,1.

Après ces considérations générales, nous allons examiner les poêles qui sont le plus fréquemment employés, et ceux qui pourraient l'être avec avantage.

1444. *Poêles simples sans circulation intérieure, et sans tuyaux de circulation.* Ces poêles sont ceux qu'on emploie le plus fréquemment; ils sont construits en fonte ou en tôle, et ce n'est guère que dans les villes qu'ils sont en faïence. Dans ces appareils le corps du poêle ne renferme que le foyer, et rarement la surface de chauffe est suffisante pour absorber une partie considérable de la chaleur du foyer ou de la fumée, surtout dans ceux de faïence, parce que cette matière n'étant employée que pour obtenir une chaleur modérée, et pour éviter les inconvénients du chauffage avec la tôle et la fonte dont nous avons parlé, on cherche souvent à diminuer autant que possible les tuyaux extérieurs à fumée. Aussi, ces derniers consomment beaucoup de combustible et chauffent peu, parce que la fumée est abandonnée à une trop haute température. Mais comme dans tous ces poêles, le tirage a lieu dans la partie du tuyau à fumée qui s'élève verticalement, la fumée pourrait être complétement refroidie si on prolongeait suffisamment le tuyau horizontal qui vient après, ou si on faisait descendre la fumée dans un des appareils décrits précédemment : ces poêles utiliseraient alors la totalité de la chaleur développée.

1445. *Poêles en terre cuite et à circulation intérieure.* Ces poêles sont principalement employés dans le Nord, en Suède, et surtout en Russie. Dans ce dernier pays, les poêles ont de très-grandes dimensions, et se construisent en même temps que les maisons. Ce sont des masses rectangulaires allongées verticalement, construites en briques, percées de canaux verticaux, que l'air brûlé parcourt plusieurs fois de bas en haut et de haut en bas. Ces poêles ont ordinairement de 2 à 3 mètres de hauteur, et $1^{m},25$ de section. Le foyer est à la partie inférieure, et sa capacité est

de $0^{m.c.},0$ à $0^{m.c.},10$. Ces poêles ne restent allumés qu'une ou deux heures le matin; on y brûle de 40 à 50 décim. cubes de bois de bouleau; lorsqu'il ne reste plus dans le foyer que de la braise sans flamme, on ferme le foyer et le registre de la cheminée. Ces masses échauffées se refroidissent lentement et maintiennent une température douce dans les pièces pendant 24 heures.

1446. En Suède, on emploie des appareils analogues, mais dont les dimensions sont beaucoup plus petites. Les figures de 8 à 15 (pl. 69) représentent un de ces appareils. La figure 8 est une élévation; la figure 9, une coupe suivant CD (fig. 14); la figure 10, une coupe suivant FF (fig. 15); la figure 11, une coupe suivant GH (fig. 13). Les figures 12, 13, 14 et 15 sont des coupes horizontales suivant les plans *ik, lm, np* et *qr*. Le foyer est en *a*, l'air brûlé s'élève dans le tuyau *b*, il descend par le tuyau *c*, tourne autour du foyer dans le tuyau *d*, et remonte dans le tuyau *e* qui communique à la cheminée.

1447. Les figures de 16 à 24 (pl. 69) appartiennent à un appareil du même genre, mais un peu plus compliqué. La figure 16 est une coupe verticale suivant IK (fig. 19); la figure 17, une coupe verticale suivant LM (fig. 20); la figure 18, une coupe verticale suivant PQ (fig. 21). Les figures 19, 20 et 21 sont des coupes horizontales faites suivant les plans GH, CD et AB (fig. 16). Les figures 22, 23 et 24 représentent les détails du registre. Les circulations centrales, représentées dans la figure 17, sont destinées à chauffer de l'air qui entre dans le poêle par la partie inférieure. Le foyer est en *a*, l'air brûlé parcourt simultanément les deux séries de canaux *b,c,d*, qui se trouvent de chaque côté des canaux à air, alors les deux courants se réunissent en un seul qui communique à la cheminée.

1448. Dans tous ces appareils les circulations ont toujours lieu dans des canaux verticaux et non horizontaux, parce qu'on a trouvé par expérience que le tirage est plus grand dans la première disposition que dans la seconde. L'explication en est d'ailleurs facile. Au commencement du chauffage, lorsque les briques sont froides, le courant d'air brûlé se refroidit peu, du moins dans sa partie centrale, lorsqu'il s'élève d'abord, tandis qu'il n'en est point ainsi quand il marche dans des canaux horizontaux. C'est d'ailleurs ce que j'ai constaté dans des poêles dont les figures 25, 26, 27 et 28 sont des coupes verticales et

horizontales; le premier fumait toujours quand on l'allumait, et dans le second le tirage était très-bon dès les premiers instants.

1449. *Poêles en briques et en fonte, à bouches de chaleur.* Ces poêles sont très-répandus en France; ils sont principalement employés dans les salles à manger. Ils ont été modifiés de mille manières; nous nous contenterons d'en décrire quelques-uns qu'on peut considérer comme types.

1450. *Poêle de Felner.* Figures 29 à 36 (pl. 69). Figure 29, élévation; figure 30, coupe verticale suivant AB (fig. 33); figure 31, coupe verticale suivant CD (fig. 34); figure 32, coupe verticale suivant FF (fig. 35). Les figures 33, 34, 35 et 36, sont des coupes horizontales par les plans GH, IK (fig. 30); LM, NO (fig. 32). Le foyer est en fonte, sa porte est dans une pièce voisine. L'air brûlé s'élève dans une série de canaux horizontaux pour gagner le tuyau qui doit le conduire à la cheminée, et qui est placé à la partie supérieure. L'air de la pièce s'introduit dans le poêle par les orifices *a*,*a*, s'échauffe contre les parois du foyer, et sort par les bouches de chaleur *b*,*b*. Dans cet appareil les bouches de chaleur sont trop petites, et placées à une trop petite hauteur; elles doivent produire très-peu d'effet. Du reste ce poêle se comporte à peu près comme ceux que nous avons décrits précédemment. L'inconvénient des circulations horizontales est faible dans cette disposition, attendu que la partie horizontale des circuits est courte, et que la porte du poêle est dans une antichambre dont on pourrait ouvrir la porte ou la fenêtre, quand on allume le feu, si le tirage n'était pas suffisant.

1451. Les figures 37, 38, 39 et 40 (pl. 69) représentent une autre disposition au moyen de laquelle on peut établir un chauffage et une ventilation régulière, et qui est bien préférable à celle que nous venons de décrire. La figure 37 est une coupe verticale suivant la ligne AB (fig. 39); la figure 38, une coupe suivant CD (fig. 40); et les figures 39 et 40, des coupes horizontales suivant les lignes EF et GH (fig. 38). Le foyer est en fonte, et s'ouvre dans une pièce voisine; l'air brûlé s'élève dans un canal central en fonte, descend et remonte successivement dans quatre tuyaux de fonte, dont le dernier communique à la cheminée; chacun de ces quatre tuyaux est logé dans une caisse en maçonnerie, ouverte par les deux bouts. L'air extérieur qui arrive par un canal placé au-dessous du sol, s'élève simultanément dans les quatre caisses qui

entourent les tuyaux de fonte. Si un orifice convenable était ménagé dans une fenêtre de la pièce, on obtiendrait une ventilation régulière; si seulement les portes et les fenêtres n'étaient pas parfaitement ajustées, la pression qui résulterait de la colonne d'air chaud suffirait pour produire une ventilation, comme celle qui résulte des cheminées ordinaires; mais cette ventilation aurait lieu en sens contraire par un excès de pression dans la pièce, et par de l'air chaud; mais elle ne serait évidemment suffisante qu'autant que la colonne d'air chaud aurait une hauteur assez considérable, 2 à 3 mètres par exemple.

1452. On voit, figure 41, le plan d'une disposition analogue à celle que nous venons de décrire, mais l'enveloppe est rectangulaire. L'air brûlé s'élève au-dessus du foyer, descend et remonte successivement dans les canaux verticaux *a, b, c, d, e,* qui renferment des tuyaux de fonte ouverts par les deux bouts, communiquant par la partie inférieure avec un caniveau s'ouvrant à l'intérieur. Dans la figure 42, le foyer est au milieu du fourneau. Dans la figure 43 on a supprimé les tuyaux métalliques; l'air s'échauffe dans les intervalles *m,n.*

1453. Les figures 44, 45, 46 et 47, représentent un poêle d'hôpital. La première est une élévation latérale; la seconde, une élévation par le bout; la troisième, une coupe longitudinale; la dernière, une coupe transversale. Les jours A et B renferment des bains de sable qui servent à maintenir les médicaments à la température convenable.

1454. Les figures 1 et 2 (pl. 70) appartiennent à un poêle d'hôpital, disposé de la même manière que celui que nous venons de décrire, mais plus élégant.

1455. Les figures 3 et 4 (pl. 70) sont des coupes verticales d'un autre poêle d'hôpital, mais avec des bouches de chaleur, et avec écoulement de l'air brûlé au-dessous du sol. Les flèches indiquent le chemin que suit la fumée. A, est un caniveau qui fournit de l'air extérieur à quatre tuyaux de fonte qui alimentent quatre bouches de chaleur.

1456. Les figures de 5 à 12 représentent un poêle ordinaire de salle à manger. La figure 5 est une élévation; la figure 6, une coupe verticale suivant AB (fig. 10); la figure 7, une coupe verticale suivant la ligne CD (fig. 12); la figure 8, une coupe suivant la ligne EF (fig. 12); enfin, les figures 9, 10, 11 et 12, sont des coupes horizontales suivant les lignes NP, LM, IK et GH. Le foyer est environné de six tuyaux de fonte qui

prennent l'air de la pièce au-dessous du poêle, et le conduisent dans un réservoir placé à la partie supérieure, et de là aux deux bouches de chaleur. Les figures expliquent suffisamment toutes les dispositions de détail.

1457. Les figures 13 à 22 (pl. 70) sont relatives à un poêle dans lequel les tuyaux de fonte sont plus nombreux, et où l'écoulement de la fumée a lieu au-dessous du sol dans un tuyau qui enveloppe celui qui amène l'air froid. La figure 14 est une élévation; la figure 13, une coupe par un plan vertical dirigé suivant GH (fig. 16); la figure 15, une coupe également verticale par la ligne IK (fig. 18); les figures 16, 17 et 18 sont des coupes horizontales suivant les lignes AB, CD, EF (fig. 14); la figure 19 est une coupe verticale suivant YZ (fig. 18); la fig. 20, une coupe verticale suivant VX (fig. 18); la figure 21, une coupe verticale suivant MN (fig. 22); et la figure 22, une coupe suivant PQ (fig. 21). L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre la marche de l'air brûlé et celle de l'air chaud.

1458. Les figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 71) représentent une disposition analogue, mais beaucoup plus simple. La figure 1 est une élévation; la figure 2 est une coupe verticale suivant la ligne EF (fig. 4); les figures 3 et 4 sont des coupes horizontales suivant les lignes AB et CD.

1459. Dans presque tous ces poêles la fumée est abandonnée à une trop haute température, et il y a beaucoup de chaleur perdue; on pourrait remédier à cet inconvénient, en faisant les chauffes à de plus grands intervalles, ou en augmentant le volume des poêles et les circuits de la fumée; ou en refroidissant l'air brûlé au sortir du poêle par les différents moyens que nous avons indiqués.

1460. *Poêles métalliques à circulations de l'air brûlé.* Ces appareils sont très-multipliés dans le Nord et en Allemagne. Souvent la circulation de l'air brûlé n'a lieu qu'à la sortie du poêle et dans des tuyaux d'un trop petit développement; souvent aussi ces appareils sont disposés de manière à renfermer des étuves, et même tout ce qui est nécessaire pour cuire les aliments. Ces derniers surtout ont été modifiés de mille manières. Nous nous bornerons à donner les dispositions d'un de ces appareils.

1461. Les figures 5 à 12 représentent deux élévations et différentes coupes d'un poêle en tôle destiné au chauffage et à la cuisson des ali-

ments. Une étuve est placée immédiatement au-dessus du foyer. L'air brûlé s'élève d'abord verticalement en parcourant les différentes faces de cette étuve; il monte ensuite dans un tuyau vertical, descend, passe sous le foyer, et s'élève dans un autre tuyau vertical, qui le conduit à la cheminée. Figure 5, élévation par-devant; figure 6, coupe verticale suivant AB (fig. 9); figure 7, coupe verticale suivant CD (fig. 9); figure 8, élévation par-derrière; figure 9, coupe suivant EF (fig. 6); figure 10, coupe suivant GH (fig. 6); figure 11, partie supérieure de la caisse qui renferme l'étuve et le foyer; figure 12, projection horizontale de l'appareil.

1462. Dans les poêles que nous venons de décrire, le tirage pendant les premiers instants, avant que l'air brûlé soit arrivé à la cheminée, provient uniquement de la différence des températures de la colonne d'air chaud qui sort immédiatement du foyer, et de la colonne descendante qui gagne le canal placé au-dessous du sol; ou quand l'air brûlé, et c'est ce qui arrive le plus souvent, monte et descend plusieurs fois avant de sortir du poêle, de la différence des températures des colonnes ascendantes et descendantes, comme nous l'avons expliqué (327). Le tirage n'a lieu alors qu'à la condition que le canal horizontal ne soit pas trop bas, autrement il faudrait établir un appel dans la cheminée en y brûlant quelques feuilles de papier; le tirage se maintiendrait aussitôt que la fumée du poêle aurait pénétré dans la cheminée.

1463. Les figures 13, 14, 15 et 16, représentent un poêle construit par M. Ducel de Lyon. Le constructeur s'est proposé d'empêcher la fonte du foyer de rougir, en obligeant l'air qui s'échauffe à passer très-près de sa surface. C'est une imitation des calorifères anglais dont nous parlerons bientôt. L'appareil se compose essentiellement d'un foyer en fonte, fermé latéralement par quatre plans verticaux, et surmonté d'un demi-cylindre. Ce foyer est enveloppé d'une caisse semblable, garnie d'un grand nombre de cylindres ouverts par les deux bouts, dont l'orifice inférieur s'approche très-près de la surface extérieure de l'enveloppe du foyer. L'air, qui doit être échauffé, arrive entre les deux enveloppes et ne peut s'échapper que par les cylindres, et par conséquent en touchant la surface de fonte fortement échauffée par le rayonnement du foyer. La figure 13 est une élévation de l'appareil; la figure 14, une coupe verticale suivant AB (fig. 15); la figure 15, une coupe suivant CD (fig. 13). La figure 16

est le plan du dessus. *a* est un canal qui règne sur trois faces de la caisse du foyer, et qui reçoit par des tuyaux, l'air brûlé qui s'échappe par les orifices *b*, *b*. L'air brûlé se rend à la cheminée par le tuyau *c*, qui est enveloppé par le canal qui conduit l'air chaud. L'air extérieur arrive par un canal *d* entre les deux enveloppes en fonte d'où il sort par les tuyaux *e*. Cet appareil est trop compliqué.

1464. *Poêle à flamme renversée.* Les figures 17, 18, 19 et 20 (pl. 71) représentent un poêle à flamme renversée dont le conduit à fumée chemine dans le sol. L'appareil se compose d'un tronc de cône vertical, interrompu à une certaine hauteur par une grille; il est fermé supérieurement par un couvercle mobile à jour; c'est par l'orifice supérieur qu'on introduit le combustible, et c'est par les jours du couvercle que pénètre l'air nécessaire à la combustion. Ce tuyau est environné de deux cylindres concentriques, dont l'intervalle est garni d'un grand nombre de cloisons, de manière à former des canaux verticaux communiquant entre eux alternativement par le haut et par le bas. La partie inférieure du cône, qui renferme le foyer, communique avec l'origine de ces canaux; l'air brûlé, après les avoir parcourus, s'engage dans un tuyau placé dans le sol, qui le conduit à la cheminée. L'air s'échauffe par le rayonnement et par le contact de la surface extérieure de la double enveloppe, dont nous venons de parler, et par son contact avec sa surface intérieure et avec l'enveloppe du foyer. La figure 17 (pl. 71) est une élévation de l'appareil; la figure 18, une coupe verticale par la ligne *zz'* (fig. 19); la figure 19, une coupe suivant *xx'* (fig. 18); la figure 20, une coupe suivant *yy'* (fig. 18). F est le foyer alimenté par l'air qui passe à travers les orifices du couvercle G. L'air brûlé pénètre par le canal *a* dans les canaux verticaux, établis dans les deux enveloppes concentriques HIKL et *hikl*, et finit par entrer dans le canal *b*, qui le conduit à la cheminée; l'air de la pièce s'introduit dans le poêle par les orifices *c*, *c*, *c*, et en sort chaud par les orifices supérieurs *d*,*d*. Cette disposition a l'avantage de brûler la fumée; mais les grilles et le tuyau qui forment le foyer s'altèrent très-rapidement. Ces sortes d'appareils exigent nécessairement qu'on produise un appel dans la cheminée avant de les allumer.

1465. *Poêle à eau chaude.* Pour éviter l'inconvénient qui résulte des surfaces métalliques trop fortement échauffées, on pourrait employer des appareils formés d'un vase plein d'eau, chauffé intérieurement par

un foyer et des conduits à fumée d'une suffisante étendue. Il ne se formerait point de vapeur, si la surface extérieure et la section du tuyau à fumée avaient été calculées de manière que la perte de chaleur par l'enveloppe, lorsque la température de l'eau serait de 100°, fût égale à la chaleur produite par la combustion du plus grand poids de combustible qu'on pourrait brûler dans le même temps. Il serait bon, d'ailleurs, de placer sur le poêle un petit tuyau qui porterait à l'extérieur ou dans le tuyau à fumée la vapeur qui pourrait se produire. On devrait aussi avoir un registre qui permît de fermer la cheminée quand l'eau serait arrivée à l'ébullition. Ces appareils auraient en outre l'avantage de conserver la chaleur pendant longtemps. Ils seraient très-utiles dans les grandes salles d'hôpitaux, surtout pour le chauffage pendant la nuit, d'autant plus qu'ils pourraient être disposés de manière à contenir des bains de sable, dans lesquels on placerait les vases renfermant les tisanes et les médicaments; mais ils devraient être construits avec beaucoup de soin et être parfaitement étanches. Les figures 21, 22 et 23 représentent un poêle à eau chaude, disposé de la manière la plus simple. La figure 21 est une élévation latérale; la figure 22, une élévation par un des bouts; la figure 23, une coupe verticale dans le sens de la longueur. Les tuyaux à fumée traversent les parois, et ils sont fermés par des tampons mobiles qui permettent de les nettoyer facilement.

1466. *Poêles à double enveloppe.* La figure 1 (pl. 72) représente une coupe du poêle de M. Chevalier, auquel ce constructeur a donné le nom de calorifère portatif. AAAA, cloche en fonte qui forme le foyer. B, grille sur laquelle on place le combustible. CC, pièce de fonte qui oblige la fumée à passer contre la paroi de la cloche pour se rendre dans le tuyau M, qui la conduit dans la cheminée. D'autres pièces plus compliquées peuvent être substituées à celle-là; mais elles exigent des circonstances plus favorables au tirage. C'C', pièce de fonte qui recouvre la pièce C. D,D, bouches de chaleur. E, bain de sable. F, calotte percée d'un grand nombre d'orifices par lesquels se dégage l'air chaud. G, porte du foyer: elle glisse dans deux coulisses verticales, et se trouve maintenue en équilibre dans toutes les positions par un contre-poids mobile I. K, enveloppe extérieure en tôle ou en cuivre. K', orifice par lequel l'air extérieur s'introduit entre les cylindres de tôle et de fonte. L, bouchon servant à fermer le tuyau à fumée quand on transporte le poêle d'une chambre dans une

autre. M, tuyau par lequel se dégage l'air brûlé quand on l'engage dans une cheminée ouverte; il se termine par une branche verticale de 0,50 à 0,60 de hauteur. L'orifice K', destiné à introduire l'air de la pièce dans le poêle, ainsi que la douille qui le garnit, ne servent qu'à gêner les mouvements de l'air et à diminuer le volume de celui qui traverse le poêle; il serait plus convenable que l'air pût s'introduire librement par tout l'intervalle qui sépare les deux enveloppes concentriques.

Il résulte des expériences faites par une commission de la Société d'encouragement, 1° que cet appareil fonctionne bien; 2° que transporté dans différentes pièces grandes et petites, le tirage s'est toujours bien établi; 3° qu'alimenté par le bois, le registre complétement ouvert, la partie supérieure débarrassée du bain de sable, et le cylindre enveloppant allongé de 0,50, l'air brûlé se dégageait à 105°. Or, comme la température à laquelle se trouverait l'air brûlé par la combustion du bois, serait de 900 degrés environ, si toute la chaleur développée était employée à le chauffer, il en résulte que dans cet appareil la perte de chaleur excédait peu $\frac{1}{9}$. Mais comme les conditions dans lesquelles ces expériences ont été faites, ne sont pas celles dans lesquelles ces appareils fonctionnent ordinairement, on se tromperait beaucoup si on comptait sur un résultat aussi avantageux. D'après la disposition de l'appareil, l'air chaud ne sort que par quatre ouvertures latérales d'un petit diamètre, et, par conséquent, en petit volume et à une température très-élevée, circonstances qui diminuent beaucoup l'effet utile.

Quand cet appareil est modifié, ainsi que nous l'avons dit, que le bain de sable est enlevé, et que le cylindre extérieur est allongé de $0^m,50$, l'effet utile de la surface de chauffe est environ trois fois plus grand que dans les calorifères ordinaires, parce que la veine d'air qui passe entre les deux cylindres, s'épanouit au delà du cylindre de fonte, et qu'alors, comme nous l'avons dit (353), la vitesse dans la veine rétrécie devient très-grande. Des expériences directes ont constaté que cette vitesse est quatre ou cinq fois plus grande que la vitesse due à la hauteur. Dans la disposition ordinaire de l'appareil, à cause des petites dimensions des bouches de chaleur, la surface de chauffe ne produit pas plus d'effet que dans les autres poêles de même genre.

M. Chevalier destinait ses appareils à être transportés facilement d'une pièce dans une autre, sans autre précaution que d'enlever le tuyau à fumée

qui s'élève dans la cheminée, de fermer par le bouchon L l'orifice du poêle dans lequel il s'engage, et de remettre le tuyau en l'introduisant dans la cheminée quand le poêle est en place. Mais le tirage s'établirait beaucoup mieux, et on obtiendrait une ventilation que l'on pourrait régler à volonté, si on fermait la devanture de la cheminée, par une plaque métallique, à travers laquelle passerait le tuyau à fumée, et qui serait pourvue d'un ou deux orifices qu'on fermerait plus ou moins.

1467. La figure 2 représente un autre poêle de M. Chevalier, dont la forme extérieure est la même, mais qui est disposé d'une autre manière. A,A, est un foyer à bois; B, un petit foyer à coke, traversé par l'air qui a servi à la première combustion. C est un bouchon creux, rempli de terre, qui ferme un orifice par lequel on introduit le coke dans le foyer B. La fumée passe ensuite dans trois canaux concentriques D,D′,D″, et enfin dans le tuyau E qui la conduit à la cheminée. Une partie de l'air brûlé qui sort du foyer A, s'introduit directement dans le tuyau E. Le foyer additionnel est utile en absorbant une grande partie de l'oxygène qui a échappé au premier foyer, mais dans les cas seulement où la porte du foyer reste très-élevée, et donne accès à un volume d'air beaucoup plus considérable que celui qu'exige la combustion, c'est-à-dire dans le cas où le foyer reste à découvert comme dans les cheminées; dans le cas contraire, il se formerait de l'oxyde de carbone qui occasionnerait une grande perte de chaleur. Quant à la surface de chauffe, elle est fort mal disposée, puisqu'il n'y a que la dernière enveloppe qui soit en contact avec l'air.

1468. Si la porte du foyer devait rester constamment ouverte, l'appareil, figure 3, serait beaucoup plus convenable. L'alimentation du foyer à coke se fait au moyen d'une boîte dont le fond est percé de larges ouvertures, et sur lequel est placé une plaque semblable, mobile à l'aide d'un bouton extérieur. Le canal à fumée D,D étant complétement exposé à l'air, toute sa surface est utilisée. Enfin, l'air échauffé s'échappe par une large ouverture F, qui règne tout autour du poêle, et qui est garnie d'une toile métallique à mailles très-larges.

1469. En supprimant le foyer à coke et la boîte d'alimentation, cette disposition serait plus simple et plus avantageuse que celle qui est représentée figure 1re. On pourrait même augmenter beaucoup l'étendue de la surface de chauffe en faisant circuler la fumée dans deux enveloppes

annulaires (fig. 4 et 5) avant qu'elle se rendît dans le tuyau à fumée.

1470. Les figures 6 et 7 représentent un poêle dont la disposition est plus avantageuse encore, parce que les surfaces de chauffe étant parcourues par l'air brûlé de haut en bas, cet air s'y distribue uniformément pour venir gagner le tuyau à fumée qui se trouve à la partie inférieure. Nous avons supposé que ce poêle était destiné à brûler des houilles sèches, et c'est pour cela que le foyer est entouré d'une enveloppe en terre cuite. Les flèches indiquent la circulation de la fumée et le mouvement de l'air dans les intervalles annulaires qu'il parcourt en s'échauffant.

1471. On voit dans les figures 8 et 9 un poêle dans lequel le chauffage de l'air s'effectue par des surfaces disposées de la même manière. Mais le foyer est à flamme renversée, ce qui nécessite un mode de circulation de l'air brûlé différent du précédent, car la fumée en montant dans l'enveloppe annulaire pour gagner la cheminée, ne s'y répartirait pas également. Des cloisons verticales *d, d* sont disposées de manière à forcer la fumée à monter dans l'un des compartiments pour descendre dans le suivant jusqu'au dernier, par lequel elle se rend dans la cheminée. L'alimentation du foyer se fait par la partie supérieure, et le combustible tombe dans un foyer cylindrique *aa* en fonte, qui peut s'enlever par la partie supérieure de l'appareil, quand on veut ôter les cendres qui se réunissent dans l'espace *e* placé sous la grille.

1472. Les figures 10, 11 et 12 représentent un autre poêle, construit sur le même principe que celui que nous avons décrit, figures 6 et 7, mais dont la forme rectangulaire en rend le placement plus facile dans certaines pièces, telles que les salles à manger, etc. Le feu se fait sur une grille A dans une caisse en fonte *aa,* placée elle-même dans une seconde B, afin que le rayonnement du combustible ne fasse pas rougir les surfaces de chauffe. La fumée monte d'abord, pour descendre ensuite simultanément par deux tuyaux carrés C,C, en tôle, qui se réunissent inférieurement au moyen d'un tuyau *cc* qui la conduit à la cheminée par le tuyau *d.* Un tablier *t* à contre-poids, quand il est levé, laisse jouir de la vue du combustible en ignition, et rend l'appareil semblable aux poêles ordinaires quand il est abaissé. L'air nécessaire à la combustion entre alors par les ouvertures *o, o* pour venir sous la grille en passant au-dessus des cendres accumulées dans le tiroir *h.* Des tampons *x, x* rendent le nettoyage facile quand on enlève le marbre qui recouvre l'appareil. On voit

par la disposition de ce système de chauffage, qu'il serait d'un service très-commode dans des pièces dépourvues de cheminées, et qu'il remplacerait avantageusement ces dernières. En supprimant la grille A et la caisse en fonte *aa*, qui ne sont nécessaires que pour la combustion de la houille, ou du coke, et en plaçant des chenets dans la caisse B, on pourrait y brûler du bois.

1473. Les figures 13 et 14 représentent une coupe verticale et une coupe horizontale d'un poêle dans lequel la transmission de la chaleur a lieu par des plaques de fonte verticales, d'une petite hauteur, qui se prolongent dans le foyer et dans l'espace annulaire qui l'environne, et où l'air doit s'échauffer; l'air brûlé parvenu au sommet du cylindre qui surmonte le foyer, descend par quatre tubes qui communiquent par leur partie inférieure avec le tuyau qui conduit la fumée dans la cheminée. Cette disposition n'a point encore été employée; mais, sans aucun doute, elle serait la plus convenable pour renfermer une grande surface de chauffe dans un très-petit espace.

1474. Dans les figures 15 et 16, j'ai donné une idée du poêle construit par M. Laury. La première est une coupe verticale; la seconde, une coupe horizontale suivant MN. L'air brûlé circule dans une série d'enveloppes dont la dernière est seule en contact avec l'air; au centre se trouve un bain de sable. Un registre *a* permet de faire arriver directement la fumée à la cheminée quand on allume le feu. Ce poêle est très-compliqué, et cette complication est sans aucune utilité; les bouches de chaleur sont d'ailleurs beaucoup trop petites.

1475. En 1841, M. Lecocq a construit un grand nombre de prétendus calorifères économiques, disposés comme l'indiquent les figures 17 et 18. La première est une vue de l'appareil; la seconde, une coupe horizontale au-dessus du socle. E est un foyer à coke en fonte, environné de briques. L'air brûlé circule dans une enveloppe annulaire A, avant d'arriver à la cheminée D; au centre s'élève l'air extérieur appelé par un très-petit tuyau *a*, et il s'échappe par un autre tuyau très-petit G. Cet appareil est certainement le plus mauvais qu'on ait jamais construit, car il satisfait complétement à cette condition, de chauffer un très-petit volume d'air à une température très-élevée, par son contact avec une surface métallique incandescente, ce qui est exactement l'opposé de l'effet qu'un bon calorifère doit produire. M. Lecocq a cependant vendu et vend encore

un grand nombre de ces appareils, par l'appât d'une grande économie. Nous en avons vu jusque dans les écoles primaires, où ils ne produisaient certainement pas la millième partie de la ventilation nécessaire (1).

1476. C'est vraiment une chose déplorable de voir que, à un très-petit nombre d'exceptions près, les constructeurs d'appareils de chauffage connaissent si peu les principes les plus simples de leur métier; il semble que, pour les appareils dont il est ici question, les constructeurs ne cherchent qu'à faire une disposition intérieure différente de celles qui ont été employées, bonne ou mauvaise peu importe, et à donner aux appareils une forme extérieure élégante; tous d'ailleurs n'estiment la bonté d'un poêle que par la vitesse et la haute température des jets d'air chaud qui sortent des bouches de chaleur.

1477. Les appareils dont il est question peuvent être modifiés de mille manières; mais ils doivent être disposés de façon : 1° que les surfaces de chauffe aient une étendue suffisante et soient toutes en contact avec l'air qui doit être échauffé; 2° que les orifices d'accès et de sortie de l'air soient assez grands pour que l'air chaud ne s'échappe pas à plus de 30 ou 40°. Tout appareil qui remplira ces conditions produira un grand effet utile, et le grand volume d'air qui le traversera s'opposera à ce que les surfaces métalliques prennent une température assez élevée pour altérer l'air.

1478. Mais il est important de remarquer qu'un appareil qui, sous tous les rapports, serait disposé de la manière la plus avantageuse, ne conviendrait pas au chauffage d'une pièce qui serait occupée longtemps et par un grand nombre de personnes, parce qu'il ne produirait pas une ventilation suffisante. Nous reviendrons sur ces appareils en parlant du chauffage et de la ventilation des lieux habités.

1479. *Poêles américains à anthracite.* Ces appareils n'ont été connus en France que par la description qu'en a donnée M. Mi Chevalier

---

(1) On trouve, dans le prospectus de M. Lecocq, le passage suivant : *.....et l'énorme économie de* 90 *pour cent qu'ils produisent, permet d'en payer l'achat en quelques semaines* (*cela est garanti*); et plus loin : *L'appareil consumant* 75 *centimes par jour, chauffe à* 15 *degrés une pièce de* 150 *mètres de surface sur* 3 *mètres de hauteur, égale à* 3 *francs dans tous les poêles.* Le style du prospectus est en harmonie avec la disposition des appareils et la véracité des promesses.

dans le *Journal d'architecture*. Nous empruntons au mémoire de M. Chevalier les détails qui suivent :

1480. « Parmi les poêles où l'on brûle l'anthracite, et qu'on trouve aujourd'hui dans tous les bureaux et les magasins, ou dans les appartements d'habitation des familles moins aisées, on en distingue trois fonctionnant avec un plein succès. Le plus ancien est celui du docteur Nott. Plus récemment ont paru celui de M. Spoor, qui est plus simple, moins sujet à se déranger, moins dispendieux d'entretien, et celui de M. Olney, qui est plus simple encore, qui convient à de petits appartements, et où l'on peut consommer de l'anthracite plus menu, mais qui cependant n'est pas tout à fait aussi commode que celui de M. Spoor.

« Les conditions que se sont imposées les constructeurs de ces poêles, sont 1° d'obtenir un tirage serré, c'est-à-dire, tel que l'air arrive par petites quantités, mais avec une certaine force ; 2° de promener l'air échauffé sur une assez grande surface métallique qui répand ensuite la chaleur par rayonnement ; 3° de dégager facilement le foyer des cendres que produit la combustion, sans vider le poêle, ou sans qu'il soit envahi par une trop grande quantité d'air froid, dont l'injection subite aurait pour effet d'éteindre l'anthracite.

1481. « *Poêle de Nott*. Le poêle de Nott (fig. 1, pl. 73) a pour chauffe l'espace O, entouré de briques réfractaires sur trois de ses côtés. Sur le quatrième côté, à l'avant, il est bordé par un grillage *i* et par une plaque de fonte en plusieurs pièces, *g*. En haut cependant, sur ce même côté, la petite maçonnerie de briques existe comme autour des autres parois. Le fond de la chauffe est formé par une grille à la surface circulaire C, représentée en perspective figure 2. Le charbon et même la flamme, quand le poêle est chargé au maximum, restent en dessous du point *p'*. L'ouverture *r*, qui reste entre *p'* et la paroi du fond *dd*, est étroite. *r* communique par l'espace S avec la cheminée. La figure 3 montre en perspective la pièce de fonte qui garnit la grille à ses deux extrémités. Au-dessus du foyer est une chambre A qui s'emplit d'air chaud, et dont la paroi n'est pas revêtue de briques ; elle envoie par rayonnement une grande quantité de chaleur. Cette chambre peut communiquer directement avec la cheminée par une ouverture que ferme ordinairement la soupape *t*, et qu'on ouvre dans le cas où il y a trop de chaleur. Le com-

bustible s'introduit par un orifice que recouvre une plaque *f* représentée à part en plan, figure 5.

« La pièce la plus importante du poêle est la grille C, représentée à part en perspective, figure 2. Elle se compose d'anneaux en fonte, fixés à un axe *a* carré par le bout. Les barreaux ou plutôt les anneaux de la grille sont rapprochés les uns des autres ; ils ont 25 millimètres d'épaisseur et 1 centimètre de largeur (dimension par laquelle ils sont en contact avec le charbon). Ce sont des plaques de forme circulaire, au moins du côté du foyer. Sur la face opposée ils sont ouverts, figure 4. Pour laisser plus de place au combustible, on leur a donné plus récemment, en dessus, une forme plus aplatie que le cercle. Pour faire tomber la cendre, on saisit l'extrémité carrée de l'axe *a* de la grille avec une tige de fer, et on communique à la grille un léger mouvement de va-et-vient rotatoire autour de son axe. Ces oscillations suffisent pour faire tomber la cendre dans le cendrier B. Deux plaques de fonte *ee' ee'* vont du bas de la grille aux parois latérales du foyer, et achèvent ainsi la clôture de celui-ci. Le cendrier est un tiroir en tôle. On a soin de le tenir fermé à peu près complétement.

« C'est simplement pour rendre l'aspect du poêle plus agréable que, sur la paroi antérieure, on a substitué un grillage en fonte *i* au revêtement intérieur en briques qui règne sur le reste du pourtour. En avant de cette grille, la paroi extérieure du poêle figure une fenêtre *h* où les vitres sont remplacées par des plaques de mica. Il résulte de cette disposition qu'on jouit de la vue du feu. Le grillage *i* est mobile autour d'une charnière *i'*. En relevant ce grillage et en ouvrant la fenêtre *h*, on atteint, quand on le désire, l'intérieur du poêle par le devant.

« Il y a dans la cheminée, comme dans celle de tous les poêles, une valve *z* qu'on tourne avec une clef extérieure, ce qui permet de régler le tirage à volonté. Les briques dont on se sert pour tapisser la chauffe et le bas de la cheminée sont modelées avec soin. Dans quelques cas, la partie inférieure de la cheminée est revêtue intérieurement de briques ; dans d'autres, la fonte y est à nu. Le renflement *mmm* n'existait pas dans les poêles les plus anciens.

« Ces poêles peuvent être ornés extérieurement. La figure 6 montre en perspective la forme qu'on leur donne le plus habituellement. Quelquefois on supprime la chambre SS qui précède la cheminée.

« Ces poêles coûtent cher. A la fin de 1835, les prix au détail variaient de 16 à 60 doll. (85 à 320 fr.). Au comptant, on faisait un escompte de 15 à 20 pour cent. Mais l'élévation des prix tient moins aux frais de fabrication, qu'à ce que l'inventeur, M. Nott, exploite son brevet.

« On les établit sur des dimensions variées. J'ai mesuré un poêle du prix de 50 doll. (266 fr.), qui servait à chauffer un très-vaste magasin. Il avait extérieurement 0m,42 de large sur ses deux côtés; 0m,83 depuis la plaque du fond *f'f'* jusqu'à la plaque *f*. Le cendrier occupait une hauteur de 0m,12, et l'étage supérieur à la plaque *l* était haut de 0m,25. L'intérieur du foyer avait 0m,30 de large sur 0m,20. La distance de *p'* à *f* était de 0m,40. Il restait 0m,20 pour la hauteur comprise entre le point culminant de la grille et *p'*. Un poêle plus petit, du prix de 20 doll. (106 fr. 67 c.), avait extérieurement 0m,32 de large dans les deux sens, et 0m,73 de haut. La hauteur du compartiment supérieur était de 0m,15; la chauffe avait 0m,19 sur 0m,19. Un poêle de la plus petite dimension, valant 16 doll. (85 fr. 33 c.), avait extérieurement 0m,28 sur 0m,28; intérieurement 0m,16 sur 0m,16, et 0m,57 de hauteur. Dans la hauteur totale, nous ne comprenons ni l'avant-cheminée SS (fig. 6), ni les pieds qui supportent le poêle; nous entendons par là l'espace qui sépare la plaque *f* de la plaque *f'f'*.

« Voici l'instruction imprimée, que les entrepositaires des poêles, à New-York, remettent aux acheteurs : « 1° Pour les poêles du moindre calibre, employez du charbon (anthracite), de la grosseur d'une noix. 2° Pour les poêles du calibre moyen, employez du charbon de la grosseur d'un œuf. 3° Pour les poêles de la plus grande dimension, servez-vous de charbon gros comme le poing. 4° Pour allumer le feu, jetez sur la grille quelques morceaux de charbon embrasé, par-dessus un peu de charbon de bois ou de bois sec; puis les plus gros fragments de votre anthracite, et recouvrez le tout d'anthracite menu. 5° Pour renouveler la charge, attendez que la charge précédente soit à peu près usée. 6° Avant de renouveler la charge, ayez toujours sous la main votre charbon (anthracite) et votre petite provision de bois sec ou de charbon de bois; grattez le foyer avec le ringard et remuez la grille, puis posez le bois ou le charbon de bois, et le charbon par-dessus. 7° Le cendrier doit être fermé. 8° Quand on allume le feu, il faut ouvrir entièrement la vanne *z* de la cheminée. Mais aussitôt que le feu est allumé et que le charbon de bois est consumé, il faut la tenir fermée en majeure partie. 9° Il ne faut

ouvrir la soupape *t* que pendant qu'on allume le feu, ou lorsqu'on a enlevé la plaque *f* pour rafraîchir le poêle et diminuer ainsi la chaleur de l'appartement par l'introduction d'une grande quantité d'air froid dans le tuyau de la cheminée. »

« En fait, au renouvellement de la charge, qui d'ailleurs n'a lieu qu'une fois par jour dans les magasins, après qu'on a allumé le feu le matin, on ne prend pas toutes les précautions indiquées dans cette instruction. On se contente de remuer la grille, quoique, à New-York, on se serve beaucoup de charbon du Lackawana, qui donne plus de cendres que les autres.

« On estime qu'un grand poêle du prix de 50 doll. consomme par hiver, c'est-à-dire du 15 novembre au 1er mai, 2800 kilog. d'anthracite; un poêle moyen en absorbe 2000 kilog.; un petit poêle 1500 kilog.

« La grille, faite de cercles de fonte assez mince et exposée à une chaleur intense, s'use rapidement. Il en est de même de la plaque *g* (appelée par M. Nott *reciprocator*), qui est, au reste, partagée dans sa longueur en deux ou trois, suivant le calibre du poêle. Il faut, chaque hiver, renouveler une fois au moins la grille et la plaque *g*. La grille est une pièce assez chère.

« Les ustensiles qui accompagnent le poêle ne sont qu'au nombre de deux : 1° un ringard, qui n'est qu'une barre de fer aplatie à son extrémité; 2° une tige de fer, qui sert à remuer la grille en saisissant l'extrémité de l'axe *a* dans une ouverture de même dimension, et qui sert aussi à soulever la plaque au moyen d'un crochet.

« Pour diminuer le prix de ces poêles, on supprime souvent l'étage supérieur à la plaque *l*, en conservant toutefois la soupape *t*. La plaque *f* repose alors sur la plaque *l*.

1482. « *Poêle de M. Spoor.* Le poêle de M. Spoor est plus moderne que celui de M. Nott. Il est moins coûteux et il exige moins de réparations; il a d'ailleurs d'autres titres de supériorité.

« Le poêle Nott, par l'ouverture de chargement placée à son sommet, envoie quelquefois un peu d'odeur sulfureuse quand l'anthracite est pyriteux (et presque constamment il l'est plus ou moins), et plus fréquemment de la poussière. Celui-ci n'a aucune ouverture à sa partie supérieure. Le poêle Nott ne donne de chaleur qu'à une certaine hauteur au-

dessus du plancher; le poêle Spoor en répand suffisamment à fleur de terre.

« Les figures 7, 8, 9, 10 et 11 représentent la coupe horizontale à deux hauteurs différentes XX et YY, et la section verticale par trois plans AA, BB, B'B'. Le foyer est circulaire et revêtu de briques. Aux quatre coins du coffre carré en fonte qui contient ce foyer rond, sont quatre conduits carrés *a*, *a*, *b*, *b*, de $0^m,10$ de côté, formés par de minces cloisons en fonte et occupant toute la hauteur du poêle. L'air chaud et la fumée qui s'élèvent du foyer O entrent dans les deux conduits *b*, *b*, par le haut, descendent jusqu'au niveau du cendrier, passent dans les deux conduits *a*, *a*, par les canaux *c*, *c*, qui bordent le cendrier à droite et à gauche, et qui n'en sont séparés que par de très-minces cloisons en fonte; parvenus ainsi jusqu'à la plate-forme supérieure du poêle, l'air chaud et la fumée débouchent derrière la plaque *ff* dans la cheminée par *ee*. L'air échauffé ne parvient donc à la cheminée qu'après avoir parcouru un grand espace et léché une grande surface de fonte.

« La pièce essentielle dans ce poêle, comme dans celui du docteur Nott, est la grille. Elle est construite dans un système tout différent de celui qu'a imaginé M. Nott; elle est beaucoup moins sujette à se détériorer. C'est une grille ordinaire (fig. 12, 13 et 14), ronde comme la chauffe et formée de barreaux espacés de moins d'un centimètre, afin qu'on puisse y brûler du charbon menu. Elle est d'ailleurs massive, et c'est une cause de durée.

« Comme dans le poêle Nott, on fait tomber la cendre dans le cendrier en remuant non le combustible, mais la grille. On imprime à celle-ci un mouvement de rotation autour de son centre dans le plan horizontal. La grille a pour support une plaque de fonte EE, représentée figures 15, 16 et 17. Elle est soutenue sur cette plaque : 1° par un axe *nn*, représenté en plan et en élévation (fig. 18 et 19), dont les extrémités s'appuient dans des cavités *m*, *m*, qui ont, dans le fond, la forme d'un quartier de sphère; 2° par un bourrelet *y* sur lequel nous reviendrons. La grille offre, dans l'épaisseur de sa périphérie, une cavité *s* où vient se loger une clef *dd* (fig. 21 et 22), introduite par l'espace *xx x'x'*, le long duquel est ménagée une ouverture dans la paroi extérieure du poêle. Une fois la grille saisie par la clef, on promène la clef de *x* en *x'*, et l'on fait ainsi aller et venir la grille d'une certaine quantité. De petites sail-

lies en biseau, indiquées sur les figures 18 et 20, d'un centimètre et demi de large et d'un centimètre de haut, faisant corps avec les barreaux, secouent les morceaux de charbon l'un contre l'autre, et ainsi la chauffe se dégarnit complétement de cendre. La grille obéit sans peine à ce mouvement de rotation, parce qu'elle n'est liée à l'axe *nn* que par une cheville ouvrière *r'r'* (fig. 20) qui entre dans la cavité de l'anneau *r*, dépendant de l'axe *nn*. Le bourrelet *y*, saillant sur la grille, et portant sur la gorge *z z'* qu'offre la plaque EE (fig. 15), maintient la grille dans sa situation horizontale pendant qu'elle va et vient sous l'influence de la clef *dd*.

« En outre de ce mouvement oscillatoire de la grille, on s'est réservé un moyen simple de vider entièrement le foyer, en faisant basculer la grille. L'axe *nn* qui la soutient ne répond pas à un diamètre de la grille, puisque le centre de la grille est le même que celui de l'anneau *r*. La grille n'est donc pas en équilibre sur *nn*. Elle tend à basculer du côté de *z z'*, et n'en est empêchée que par la saillie *y*, qui est retenue par l'arc *z z'*; mais on a échancré *z z'* en *zz*, de sorte qu'il suffit d'amener *y* au-dessus de *zz* pour que la grille se renverse. A cet effet, la grille porte en dessous une saillie *k*, qu'on va chercher par la porte du cendrier, et qui offre une cavité où l'on fait entrer la clef *dd*. Par ce moyen, on fait tourner la grille jusqu'à ce que *y* arrive à l'échancrure *zz*.

« Il est essentiel que jamais la grille ne soit exposée à basculer pendant qu'on la fait aller et venir pour secouer seulement le charbon, en promenant la clef *dd* dans la fente *x x'*. Les positions respectives de l'ouverture *x x'*, de la gorge *z z'*, de la saillie *y* et de la cavité *s*, et les longueurs de *x x'* et de *z z'*, sont calculées en conséquence. Il suffit, pour garantir la grille de la culbute pendant le nettoyage, que quand le trou *s* occupe la position extrême *x'* comme l'indique la figure 15, la dent *y* reste un peu en deçà de *zz*.

« Comme les gaz qui s'élèvent de la chauffe entraînent de la poussière qui, à la longue, pourrait obstruer les canaux *cc* en s'accumulant sous les conduits *bb*, on s'est réservé le moyen de vider *cc* au besoin. A cet effet on a ménagé, à droite et à gauche du cendrier, au bas de *bb* (fig. 8 et 9), deux ouvertures qui, dans l'état ordinaire des choses, sont hermétiquement closes à l'aide des petites portes *p*, représentées en plan, en coupe et en élévation (fig. 23, 24 et 25). La saillie *p'*, qui aide la porte

p à se tenir debout, se place dans l'intérieur, comme l'indiquent les figures 8 et 9. Les côtés de la plaque *p* sont légèrement en biseau, afin que la fermeture soit plus parfaite; car le tirage serait désorganisé s'il y avait une communication entre le cendrier et les canaux *cc*.

« A la partie supérieure de la chambre M, qui est pleine d'air chaud, on a pratiqué, dans la paroi inclinée *ff*, une ouverture *o* qui habituellement est close par la vanne *t*, laquelle se manœuvre autour de l'axe de rotation *i*, à l'aide de la clef extérieure *h* (fig. 9). On peut à volonté rabattre la vanne *t*, et la mettre dans la position indiquée figure 11. Alors l'air chaud, au lieu de décrire le circuit *bca*, se rend directement dans la cheminée. Ainsi on n'ouvre *o* que lorsqu'on veut diminuer la température. Le poêle se charge par une porte P qui existe sur la face antérieure, au-dessus du plan XX. C'est une porte tournante sur deux petits gonds, comme celle des poêles ordinaires; seulement, au lieu de consister en une simple plaque de fonte pleine, c'est un grillage garni d'une plaque de mica, comme la fenêtre pratiquée à l'avant du poêle Nott. La cheminée, à sa base, au lieu d'être ronde, a une section elliptique, comme il résulte de la comparaison des deux figures 10 et 11. Le poêle Spoor se prête mieux que le poêle Nott à l'emploi du combustible menu, qui est le moins cher. On estime qu'un poêle moyen consume par hiver 2000 kilog. d'anthracite.

« Les cotes indiquées sur les figures sont celles qui correspondent à un poêle de grande dimension. Les poêles moyens ont $0^{m},75$ de haut, les moindres poêles $0^{m},65$. Le poêle Spoor peut, comme celui du docteur Nott, être enjolivé par divers ornements. Nous n'entrerons à ce sujet, dans aucun détail; nous ne reproduirons même aucune élévation.

1483. « *Poêles d'Olney*. Figures 26, 27.... 36, 37 (pl. 73). Le poêle d'Olney est plus simple encore que celui de Spoor. Il est à peu près ramené à la forme et aux dispositions ordinaires. C'est un coffre en fonte quadrangulaire, avec les angles rabattus, dont le fond est occupé par une grille dégagée des combinaisons, ingénieuses d'ailleurs, et même utiles, mais un peu complexes, que nous avons signalées pour les deux poêles précédents. La figure 57 représente le plan, la figure 26 la coupe suivant AA, la figure 28 l'élévation de face, la figure 29 l'élévation latérale.

« Le poêle est partagé dans sa hauteur en trois étages. L'étage inférieur *aaaa* reçoit le combustible; le charbon va même jusqu'à la moitié

de l'étage supérieur. A ce premier étage, le poêle est revêtu de briques dressées contre les parois. Le second étage *bbbb* va en se rétrécissant légèrement par le haut. L'étage culminant *cccc* est l'étage de service, celui par lequel on charge et par où les gaz de la combustion et la fumée se rendent dans la cheminée par l'ouverture *s''*.

« La grille, représentée en plan (fig. 27), en élévation latérale (fig. 30), et que la figure 31 montre de face, décrit les deux côtés d'un angle droit. Chacun des barreaux a la forme générale de l'élévation (fig. 31). La partie antérieure de la grille *uuuu* (fig. 38) se recouvre au moyen de la plaque *ee*, qui est mobile autour de la ligne *dd* comme autour d'une charnière, et qu'on peut à volonté rabattre sur la grande plaque *ffff*, ou relever contre la partie antérieure de la grille en la saisissant par un crochet, à l'aide de l'échancrure *e'* ménagée dans la plaque *ffff*. Comme dans les poêles de Nott et de Spoor, le cendrier est un tiroir à coulisse *gg*, en tôle mince, qui s'ouvre et qui se ferme par le bouton *g'*.

« Il y a deux portes de chargement. La première, qui sert le plus ordinairement, est une plaque *hh* appliquée contre une ouverture qui occupe presque en totalité la paroi antérieure du troisième étage *cccc*. Cette plaque est représentée séparément (fig. 33) du côté tourné vers l'intérieur du poêle, et figure 34 en profil. La base *h'h'* fait fonction de charnière en s'appuyant sans aucune attache sur la paroi *cc* du côté intérieur. *h'h'* est plus large que le côté *hh*, et la plaque *hh* est plus large que l'ouverture qu'elle est destinée à recouvrir. Il en résulte qu'en présentant *h'h'* de biais devant l'ouverture, on engage *h'h'* dans l'intérieur du poêle, tandis que la masse de la plaque *hh* reste en dehors et s'appuie par ses rebords minces sur les bords de *cc*. *hh* est retenue ensuite dans sa position verticale au moyen d'un petit loquet *ll* engagé avec un jeu suffisant dans la plaque *hh*, où un trou de passage est pratiqué à cet effet. La plus grande partie du poids du loquet étant du côté de *l*, la pointe *l'* tend toujours à se relever et à s'accrocher, par conséquent, contre le bord de *c*.

« On a accès pareillement à l'intérieur du poêle en soulevant la plaque *mm* qui le recouvre et qui est représentée à part (fig. 34 et 35), en plan et en élévation. Les saillies en créneaux qu'elle présente sur son pourtour (fig. 26, 28 et 29), sont purement de décoration. On la saisit à l'aide d'un crochet par le trou *i*, ménagé dans la saillie *m'*.

« Pour nettoyer le feu et faire tomber la cendre dans le cendrier, il n'y

a qu'à gratter le charbon à travers les barreaux de la grille, à l'aide d'un ringard aplati semblable à celui du poêle de Nott.

« Le poêle communique avec la cheminée par une ouverture ronde pratiquée dans la plaque qui fait face à l'ouverture *hh*. Pour empêcher que pendant le chargement quelques charbons ne tombent dans la cheminée et ne l'obstruent, cette ouverture est garnie de barreaux.

« Ordinairement on pose au-dessus de *mm* un vase de fonte rempli d'eau, indiqué en plan dans la figure 36, et en élévation, figure 37; *nn* est un fil d'archal qui sert de poignée ou d'anse à ce vase. Pour la décoration on recouvre ce vase d'un couvercle. Il s'y trouve quatre petites ouvertures rondes par lesquelles la vapeur se répand dans l'appartement. Le chapeau *mm* offre, sur sa surface plane, quatre saillies, entre lesquelles on loge le pied du vase rempli d'eau. »

1484. *Poêle à température constante.* Les figures 16, 17 et 18 (pl. 74) représentent, la première, une élévation par-devant; la seconde, une élévation latérale; la dernière, une coupe verticale d'un poêle qu'on a désigné sous le nom de calorifère manomètre. Cet appareil est en fonte; le foyer A est environné de briques, et surmonté d'une double calotte en fonte B, à charnière, qu'on soulève avec un crochet pour introduire le combustible qui est toujours du coke. Dans l'espace C qui existe au-dessus du foyer, se trouve le réservoir D d'un thermomètre à mercure, en fer, dont la tige EFG sort de l'enveloppe et se recourbe comme l'indique la figure 17. L'extrémité de cette tige est ouverte et reçoit un flotteur en fer suspendu à une chaîne très-fine, qui passe sur la poulie fixe H, et est attachée par l'autre extrémité à un petit registre I, mobile autour de son centre, qui ferme l'accès de l'air dans le foyer, quand la température de la chambre C est arrivée à une certaine limite, fixée d'avance. Cet appareil fonctionne bien; et dans certaines circonstances il pourrait être utile; mais appliqué à un poêle, qui est destiné à échauffer et à maintenir l'air d'une pièce à une certaine température, c'est un véritable contre-sens, car ce n'est pas l'appareil qui doit être maintenu à une température constante, mais l'air de la pièce elle-même, et il faut pour cela que la température du poêle change avec la température extérieure. Le thermomètre devrait être placé dans la pièce à une certaine distance du poêle, pour que sa température ne fût pas influencée par le rayonnement du poêle : on obtiendrait ainsi une température constante.

1485. Lorsque les poêles sont en terre cuite, avec ou sans chauffage d'air à l'intérieur, il est impossible de déterminer les dimensions qu'on doit leur assigner pour qu'ils produisent un effet donné, c'est-à-dire, pour qu'ils puissent maintenir à une certaine température, sans ventilation, une pièce dont toutes les dimensions sont connues; parce qu'il faudrait d'abord pour cela, connaître la quantité de chaleur qui peut s'emmagasiner dans leurs masses, et la loi suivant laquelle cette chaleur se dissipe. Les dimensions de ces appareils ne peuvent être données que par l'expérience. Presque toujours ces poêles sont trop grands; mais on peut faire varier à volonté leur effet, en augmentant ou en diminuant les quantités de combustibles employées à chaque chargement du foyer, et les intervalles de ces alimentations.

Il n'en est pas ainsi des poêles métalliques dans lesquels le chauffage est continu; on peut déterminer, pour la saison la plus froide, la perte de chaleur par les vitres et les murailles, comme nous le verrons dans le chapitre XVIII de cet ouvrage, et ensuite, au moyen des nombres que nous avons donnés précédemment, l'étendue des surfaces de chauffe.

§ 4. — CHEMINÉES-POÊLES.

1486. Je désigne ainsi les appareils de chauffage qui ont de l'analogie avec les cheminées, en ce qu'ils laissent voir le feu, et avec les poêles, parce qu'ils échauffent l'air par les parois du foyer.

1487. L'appareil le plus simple est représenté figures 1, 2 et 3 (pl. 74). La première est une élévation de face; la seconde une coupe verticale; et la dernière une coupe horizontale. Il est formé d'une caisse, semblable au foyer d'une cheminée à la Rumfort, en fonte, et plus ordinairement en tôle; la partie antérieure peut se fermer et s'ouvrir à volonté au moyen d'un tablier vertical, composé de trois lames de métal que l'on fait monter ou descendre, à l'aide de deux chaînes qui s'enroulent sur un cylindre de fer, que l'on met en mouvement à l'aide d'une manivelle placée latéralement. Ces appareils se placent ordinairement devant une cheminée que l'on a préalablement bouchée, et la fumée y est conduite inférieurement par un tuyau court, ou par un tuyau qui s'élève jusqu'au plafond. Dans ce dernier cas, l'effet produit est évidemment plus considérable. Les parois intérieures sont ordinairement recouvertes

de plaques d'argile cuite. Les tuyaux de dégagement de la fumée ont des diamètres qui varient depuis 20 jusqu'à 30 centimètres, suivant les dimensions des appareils.

1488. Ces cheminées, qui ont en général un aspect agréable, ont tous les avantages des autres cheminées; elles ont de plus celui de donner beaucoup de chaleur par les parois extérieures, et enfin d'être d'un service très-commode pour allumer le feu, car en abaissant le tablier, de manière qu'il ne reste au-dessous qu'une ouverture de 1 à 2 centim., l'air y acquiert une grande vitesse, et le courant étant dirigé sur le combustible, on obtient le même effet qu'avec un soufflet.

On peut aussi disposer ces appareils de manière à y brûler de la houille ou du coke.

1489. En faisant circuler la fumée après sa sortie du foyer, on peut obtenir presque l'effet des meilleurs poêles. Je dis presque et jamais exactement, à moins qu'on ne tienne le tablier très-bas, parce qu'à surfaces égales, et également bien disposées, les poêles utilisent toujours plus de chaleur. Cette différence provient de ce que l'air qui s'introduit dans le foyer d'un poêle passe toujours à travers le combustible, et par conséquent qu'une petite partie seulement échappe à la combustion; tandis que dans les appareils dont il est question, une grande partie de l'air qui entre dans le conduit à fumée n'a pas traversé le combustible, et diminue la température de celui qui a alimenté la combustion.

1490. *Cheminée-poêle de Desarnod.* Cet appareil est représenté figures 4, 5 et 6 (pl. 74). La première est une élévation, la seconde une coupe transversale, et la troisième le plan. Ce poêle est formé d'une caisse rectangulaire en fonte ou en tôle; la combustion est alimentée par l'air de l'appartement; on règle l'ouverture d'introduction de l'air, à l'aide de plusieurs plaques mobiles M,N, qui glissent dans des rainures; elles sont suspendues à deux chaînes qui s'enroulent sur le cylindre x, que l'on fait mouvoir par une petite manivelle extérieure. Ce poêle est placé sur un canal à air qui se prolonge sous le parquet et va s'ouvrir à l'extérieur. L'air peut également être amené par les tuyaux D,D. L'air frais circule d'abord entre deux plaques horizontales qui forment la base de la cheminée, il s'y introduit par les ouvertures o,o, parcourt les sinuosités fgh, s'élève ensuite dans une caisse rectangulaire en fonte K dont les surfaces sont échauffées par la fumée, de là il se rend dans les tuyaux

R d'où il sort par des bouches de chaleur. L'air brûlé s'échappe par le tuyau F.

Cette disposition est compliquée; on pourrait facilement en imaginer un grand nombre d'autres qui seraient préférables sous tous les rapports. Par exemple, des tuyaux horizontaux placés comme dans la figure 11 (pl. 68) produiraient beaucoup plus d'effet et occasionneraient beaucoup moins de frais de construction.

1491. *Cheminée-poêle à houille.* Les figures 7, 8 et 9 (pl. 74) représentent un appareil destiné à brûler de la houille. La première est une élévation de l'appareil; la seconde, une coupe horizontale par la ligne CD; et la dernière une coupe verticale par la ligne MN. L'air brûlé s'échappe à la partie supérieure du foyer, par un tuyau *ab* qui descend, il remonte ensuite par deux autres tuyaux qui se réunissent pour rejoindre la cheminée; l'air extérieur arrive en dessous du foyer, suit une surface qui le rapproche des tuyaux de dégagement de l'air brûlé, et sort de l'enveloppe par des orifices qui le conduisent dans une caisse supérieure d'où il s'échappe par quatre bouches de chaleur. Dans cet appareil, les bouches sont beaucoup trop petites, et par une combustion un peu vive, l'enveloppe du foyer doit rougir et par conséquent donner une mauvaise odeur à l'air échauffé.

1492. On voit dans les figures 10 et 11 une élévation et une coupe horizontale d'une disposition analogue. *a*,*a* sont les coupes des tuyaux à air brûlé descendants, et *b*,*b* celles des tuyaux ascendants. Dans cet appareil, comme dans le précédent, les bouches de chaleur sont au moins dix fois trop petites.

1493. *Cheminée-poêle à flamme renversée.* Cet appareil consiste en un vase de fonte, fermé à la partie supérieure par une grille sur laquelle on place le combustible, et qui communique inférieurement avec une cheminée dans laquelle l'air de la pièce ne peut pas pénétrer directement. On commence, avant d'allumer le combustible, par introduire dans la cheminée quelques morceaux de papier enflammés; lorsque le tirage est établi, on peut allumer le combustible sur la grille. Les figures 12, 13 et 14 représentent deux dispositions différentes du foyer, et une coupe transversale de la cheminée. Dans la figure 15, la grille est inclinée. Dans ces deux dernières figures, *a* représente une petite porte destinée à introduire le combustible qui doit produire le tirage avant qu'on allume

le foyer. Les tuyaux qui conduisent l'air brûlé à la cheminée peuvent être plus ou moins longs; et on peut chauffer l'air de ventilation, comme cela est indiqué dans la figure 15. Ces appareils utilisent une grande partie de la chaleur rayonnante, et une grande partie de celle qui est entraînée par l'air brûlé, quand le canal qui le conduit à la cheminée a un développement suffisant. On pourrait à la rigueur brûler sur la grille toute espèce de combustible, mais à la condition de produire une combustion très-vive, pour qu'aucune parcelle de fumée ne se dégage. Il serait même très-dangereux, avec un combustible quelconque, d'établir une combustion languissante, comme cela est nécessaire lorsque le froid n'est pas très-vif, parce qu'il pourrait se dégager dans la pièce de l'oxyde de carbone, et que ce gaz est très-délétère. Ces appareils, connus depuis longtemps, ne sont pas en usage; nous n'en avons parlé que pour compléter la liste des appareils dont nous venons de nous occuper.

§ 5. — CALORIFÈRES A AIR CHAUD.

1494. On désigne sous le nom de calorifères à air chaud, des appareils dans lesquels l'air est échauffé par la chaleur rayonnante d'un foyer et la chaleur de la fumée, transmises à travers des enveloppes métalliques ou en terre cuite; mais, comme nous l'avons dit précédemment, nous ne donnerons le nom de calorifères qu'aux appareils destinés à chauffer de l'air pris à l'extérieur et à le verser ensuite dans les lieux où il doit être utilisé.

1495. Ces appareils peuvent être modifiés d'une infinité de manières différentes; et tous les poêles que nous avons décrits, avec des surfaces de chauffe suffisantes, pourraient être employés. Mais on conçoit qu'il y a des dispositions plus avantageuses les unes que les autres, qui avec la même étendue de surface de chauffe produisent un plus grand effet utile. Il y a d'ailleurs, dans les différents cas qui peuvent se présenter, des conditions particulières à remplir, qui ne permettent pas d'employer indistinctement tous les appareils.

1496. Nous nous occuperons successivement, des calorifères qui sont placés dans les salles mêmes qui doivent être échauffées, de ceux qui doivent échauffer l'air de ventilation dans des pièces différentes, des calorifères qui sont destinés à échauffer l'air à une haute température, et enfin

de ceux dans lesquels on emploie la chaleur perdue de certains appareils de chauffage.

Calorifères placés dans les pièces qui doivent être chauffées et ventilées.

1497. Ce cas est celui des écoles primaires et des salles d'asile, parce que les calorifères doivent y être surveillés par les maîtres eux-mêmes; qu'en plaçant les calorifères dans les salles, on profite de toute la chaleur qui serait perdue par les parois de l'appareil, et par celles des tuyaux de conduite s'ils étaient installés ailleurs; enfin parce que les appareils peuvent être disposés de manière à utiliser toute la chaleur développée, sinon pour le chauffage, du moins pour la ventilation, comme nous le dirons dans l'article du chapitre XVIII de cet ouvrage, consacré au chauffage et à l'assainissement des salles d'école.

1498. La disposition la plus simple et la plus convenable de ces appareils consiste dans un foyer cylindrique ou prismatique, surmonté d'un cylindre d'une certaine hauteur, se terminant par un tuyau à fumée vertical de $1^{m},50$ à 2 mètres, et qui se dirige ensuite horizontalement, jusqu'à la cheminée d'appel, en faisant les circuits convenables pour présenter à l'air une surface suffisante. Ce cylindre est environné d'un autre, concentrique, d'un plus grand diamètre, d'une plus grande hauteur, fermé par le bas, ou du moins qui descend jusqu'au niveau du sol, et qui est ouvert à la partie supérieure. Un canal d'une dimension convenable, placé dans le sol et garni d'un registre, établit une communication de l'extérieur du bâtiment à l'intérieur de l'enveloppe du calorifère.

Il est évident que par cette disposition, l'air extérieur, attiré par la cheminée d'appel, pénétrera dans l'intervalle qui sépare le foyer de l'enveloppe, qu'il s'élèvera en s'échauffant, et que l'air de la pièce sera en outre échauffé par le tuyau à fumée. Les deux enveloppes peuvent être en terre cuite, en fonte ou en tôle; mais il est plus convenable de faire en fonte le cylindre qui renferme le foyer, et l'enveloppe extérieure en tôle. La grande vitesse de l'air, en parcourant l'intervalle des deux cylindres, ne permet pas au cylindre intérieur de s'échauffer jusqu'au rouge; on peut d'ailleurs revêtir en briques l'intérieur du foyer. Au lieu de laisser le cylindre enveloppant tout ouvert, il vaut mieux le fermer supérieu-

rement par une toile métallique, ou le garnir latéralement de très-grands orifices fermés également par des toiles métalliques à très-larges mailles. Le canal qui amène l'air de l'extérieur doit être garni d'un registre qu'on ferme quand on veut chauffer la pièce sans y produire de ventilation; on ouvre alors une porte qui se trouve au bas de l'enveloppe, afin de faire circuler l'air de la pièce entre les deux cylindres.

1499. Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 75) représentent un appareil destiné à la combustion de la houille, du coke ou de la tourbe. La figure 1re est une élévation; la figure 2, une coupe verticale suivant la ligne *mn* (fig. 4); la figure 3, une coupe verticale suivant la ligne *ef* (fig. 4); les figures 4 et 5, des coupes horizontales suivant les lignes *ab* et *cd* (fig. 2). ABCD, cylindre en tôle ou en fonte qui renferme le foyer; A'B'C'D', cylindre en tôle extérieur fixé sur le sol par trois écrous. E, foyer; F, cendrier; G, porte du foyer; H, porte du cendrier. I, porte au-dessous du cendrier, qui ne reste ouverte que quand on chauffe la pièce sans la ventiler. K, registre tournant qui permet d'intercepter la communication de la pièce avec l'extérieur; on peut le maintenir dans différentes positions, au moyen d'une manivelle dont l'extrémité est percée d'un trou qui reçoit une cheville qui s'engage dans des trous percés sur un demi-cercle en fer fixé sur le sol. L, registre du tuyau de dégagement de l'air brûlé. M, briques qui environnent le foyer. P, Q, R, écrous qui servent à fixer l'enveloppe sur le sol. S, canal qui amène l'air extérieur dans le calorifère.

1500. Les figures 6, 7, 8, 9 et 10 (pl. 75) appartiennent à un appareil semblable, mais rectangulaire, et destiné à brûler du bois; les mêmes lettres représentent dans cet appareil les mêmes objets que dans celui que nous venons de décrire.

1501. Nous indiquerons dans le chapitre XVIII, les dimensions des calorifères, qui conviennent pour des salles d'école renfermant différents nombres d'élèves, ainsi que les consommations approchées de combustible pour le chauffage et la ventilation.

1502. Si on voulait placer une plus grande surface de chauffe dans l'enveloppe, on pourrait employer un grand nombre de dispositions différentes. Nous en décrirons quelques-unes. Les figures 11, 12 et 13 (pl. 75) représentent l'élévation, une coupe verticale et une coupe horizontale d'un appareil dans lequel le tuyau de dégagement de l'air brûlé

fait plusieurs circuits avant de sortir de l'enveloppe. Dans les appareils (fig. 14, 15, 16 et 17) les changements de direction ont lieu verticalement. Dans l'appareil (fig. 18, 19 et 20), où les deux dernières figures sont des coupes horizontales suivant les lignes AB et CD de la première, le tuyau à fumée est interrompu à une certaine hauteur; l'air brûlé parcourt un canal annulaire qui l'environne, et rentre plus haut dans le tuyau.

1503. On pourrait faire descendre la fumée entre deux cylindres ayant toute la hauteur du cylindre intérieur et concentriques avec lui; l'air extérieur s'élèverait dans les deux espaces annulaires qui se trouveraient sur chacune des faces du canal de descente, et l'air brûlé s'échapperait au-dessous du sol. Ce serait une très-bonne manière de loger une très-grande surface de chauffe dans un très-petit espace; cette surface serait d'ailleurs très-bien utilisée, car elle serait chauffée uniformément et parcourue dans toute son étendue par l'air extérieur. On pourrait aussi faire descendre l'air brûlé simultanément par un grand nombre de tuyaux d'un petit diamètre.

1504. En disposant le cylindre intérieur, qui renferme le foyer, comme nous l'avons dit (1473), on augmenterait beaucoup la transmission de la chaleur.

Dans toutes ces dispositions, la fumée pourrait se dégager par le haut ou par le bas de l'appareil.

1505. Pour ces sortes d'appareils il faut compter sur 1 mètre carré de surface de chauffe par kilogramme de houille ou par deux kilogrammes de bois brûlé par heure, en mettant à part l'enveloppe extérieure.

Calorifères placés loin des lieux qui doivent être échauffés.

1506. Le cas que nous considérons maintenant est le plus ordinaire. Les calorifères sont alors placés dans des caves ou dans des pièces inférieures à celles qui doivent être échauffées. Toujours ils ont un revêtement en briques, destiné à diminuer la quantité de chaleur qui serait perdue par l'enveloppe si elle était métallique. Dans les uns, c'est l'air brûlé qui parcourt des tuyaux diversement disposés dans l'appareil; dans les autres, c'est l'air extérieur qui traverse des tuyaux métalliques dans lesquels il s'échauffe.

Ces deux dispositions produisent des effets utiles très-différents, car dans chacune l'air n'est chauffé que par son contact avec les surfaces qu'il parcourt, et dans la première, la surface de chauffe se compose de la surface des tuyaux et de celle de l'intérieur de l'enveloppe, tandis que, dans le second cas, elle est réduite à la surface intérieure des tuyaux. Dans l'un et l'autre cas, on peut obtenir une appréciation suffisante de l'étendue des appareils, en comptant sur 2 mètres carrés de surface de chauffe réelle par kilogramme de houille brûlée par heure.

1507. *Calorifère de M. René Duvoir.* Cet appareil est représenté pl. 67. Les figures 1re et 2 sont deux coupes verticales, perpendiculaires entre elles par le milieu du foyer; la figure 3 une coupe horizontale suivant *xx'* (fig. 1re); la figure 4, une coupe suivant *yy'*; et les figures 5, 6 et 7 sont d'autres coupes faites à des hauteurs différentes par les plans *zz'*, *tt'*, *uu'* (fig. 1re).

Une cloche en fonte A sert de foyer; B est la grille, et C le cendrier qui communique par le tuyau *p*, muni d'un registre, avec l'air extérieur qui arrive par les canaux *mm*. Voici le mode de circulation de la fumée. Les produits de la combustion montent dans le cylindre en fonte D placé sur la cloche A, et de là se divisent pour suivre simultanément des chemins symétriques dans chacun des appareils qui constituent le calorifère. La fumée descend dans le tambour de fonte F, monte dans les tuyaux de fonte G, G, passe de là dans les tuyaux H, H, puis dans les conduits I, I, pour se diriger par K, K, dans L, L, qui la conduisent aux tuyaux MM. Ces derniers se réunissent en un seul N, par lequel la fumée peut se rendre directement dans la cheminée générale P, ou circuler avant, dans des carneaux *o*, *o* pour chauffer une chaudière en tôle ZZ, suivant qu'on ouvre ou qu'on ferme les registres R, R'. Les flèches indiquent le mouvement de la fumée. *t*,*t*,*t*, sont des tampons qui ferment des tuyaux disposés pour le nettoyage de l'appareil. Une maçonnerie en briques, maintenue par une armature en fer, entoure les tuyaux de manière à laisser entre cette enveloppe, qui s'oppose au refroidissement de l'appareil, et les tuyaux qui transmettent la chaleur de la fumée, un intervalle par lequel monte l'air qui doit s'échauffer en passant dans le calorifère. Des flèches ponctuées font voir le mouvement de l'air appelé; il arrive d'abord sous le foyer par les canaux *m*,*m*, monte dans des conduits *c*,*c*, passe autour de la cloche et des cylindres F,F, et ensuite autour des

surfaces des autres tuyaux à fumée. L'air qui a traversé l'appareil parcourt le canal *dd* pour se réunir dans sa partie supérieure, où il se mêle avec la vapeur d'eau que fournit la chaudière Z. De cette manière l'air chaud, qui se rend par l'ouverture *e* dans les appartements à chauffer, se trouve dans un état hygrométrique suffisant pour ne pas être insalubre.

Cet appareil a plusieurs inconvénients : d'abord, comme l'air brûlé doit se diviser plusieurs fois en s'élevant, on ne peut pas être certain qu'il suive simultanément tous les chemins qui lui sont présentés, et, par conséquent, que toute la surface de chauffe soit utilisée. En second lieu, la cloche qui recouvre le foyer étant trop basse, la flamme ne peut pas se développer, il se dégage beaucoup de fumée, et par suite l'effet utile des combustibles qui brûlent avec flamme, est moindre dans cet appareil que dans les autres, et les tuyaux à fumée s'engorgent facilement. Enfin cet appareil est compliqué et par conséquent d'un prix élevé.

1508. Les figures de la planche 77 représentent un calorifère disposé d'une manière très-différente. L'air à chauffer traverse simultanément un grand nombre de tuyaux de fonte, autour desquels passe l'air brûlé qui sort du foyer. La figure 1re est l'élévation de la face du devant; la figure 2, une élévation latérale; la figure 3, le plan de la partie supérieure; la figure 4, une coupe verticale suivant *vv'* (fig. 8); la figure 5, une coupe verticale suivant *tt'* (fig. 7); la figure 6, une coupe horizontale suivant *xx'* (fig. 4); la figure 7, une coupe suivant *yy'* (fig. 4); et enfin, la figure 8, une coupe horizontale suivant *zz'* (fig. 4). A, foyer; B tuyaux de fonte ouverts par les deux bouts, engagés dans des plaques de fonte percées de trous correspondants; C, cendrier; D, chambre à air froid; E, E, orifices par lesquels l'air extérieur s'introduit dans la chambre D; F, chambre à air chaud; G, tuyau d'écoulement de l'air chaud; H, porte du foyer; I porte du cendrier; K, portes pour nettoyer les carneaux; L, tuyau de dégagement de l'air brûlé; M, carneaux de circulation de l'air brûlé.

Cette disposition a aussi de graves inconvénients. D'abord, la surface de chauffe est beaucoup trop petite, même en ajoutant la surface des plaques à celle des cylindres; la circulation de l'air brûlé dans la maçonnerie de fourneau est sans utilité, du moins elle n'agit qu'en s'opposant à son refroidissement; en outre, c'est une chose peu convenable de

faire les prises d'air à chauffer dans la pièce même où se trouve le calorifère, et surtout de chaque côté de la porte du foyer; enfin la disposition des cylindres qui sont au delà du foyer est très-favorable au refroidissement de la fumée, mais ne permet pas de dépouiller les tuyaux de la suie qui s'accumule en peu de temps autour de leurs surfaces.

1509. L'appareil indiqué figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 78), ne présente pas les inconvénients que nous venons de signaler. La figure 1 est une élévation latérale; la figure 2, une coupe horizontale; la figure 3, une coupe verticale suivant *yy'* (fig. 2); les figures 4 et 5, des coupes verticales suivant les lignes *zz'* et *tt'* (fig. 3). Dans cette disposition les cylindres de fonte se touchent, et par conséquent on a enlevé dans une partie du contour les rebords qui les terminent. On aurait pu laisser les rebords entiers, en remplissant avec de l'argile, l'intervalle qu'ils auraient laissé entre les corps des cylindres. Les surfaces de chauffe sont dans le rapport convenable avec la grille du foyer, et on a ménagé des regards pour nettoyer les carneaux que forment les rangées de tuyaux.

1510. On augmenterait beaucoup l'effet utile produit dans cet appareil et dans le précédent, si les cylindres de fonte étaient garnis d'appendices intérieurs, comme l'indique la figure 6. Ces appendices devraient être courts et placés de manière à contrarier les mouvements de l'air chaud. On produirait une partie de l'effet qui résulterait de ces appendices, en plaçant dans chaque cylindre un autre cylindre en tôle, fig. 7, d'un plus petit diamètre, qui s'échaufferait par rayonnement. Une feuille de tôle pliée en prisme triangulaire, figure 8, ou mieux encore, pliée comme l'indique la figure 9, produirait un meilleur effet.

1511. Tous ces appareils ont un inconvénient qu'il est important de signaler. Les joints, qu'on ne peut fermer qu'avec de la terre crue, sont très-nombreux, car il y en a aux extrémités de chaque cylindre, et aux arêtes des plaques de fonte dans lesquelles les cylindres sont emboîtés par leurs extrémités, et ces plaques sont nombreuses, car si elles avaient une trop grande étendue elles casseraient ou deviendraient gauches. Or, tous ces joints, par la nature de la matière employée pour les fermer, et aussi par le fait des variations continuelles de longueur des pièces métalliques, laissent nécessairement beaucoup de jours, et quoique ces jours soient très-petits, ils ont une surface totale assez considérable, et par conséquent laisseront passer la fumée dans l'air chaud,

ou l'air chaud dans la fumée, suivant que l'appel dans le tuyau à air chaud l'emportera sur l'appel de la cheminée, ou que le contraire aura lieu. Le premier cas se rencontre quelquefois, comme nous le verrons au chapitre XVIII ; alors il en résulte le plus grave de tous les inconvénients des appareils de chauffage. Quand, au contraire, le tirage de la cheminée l'emporte, et c'est ce qui a presque toujours lieu, une certaine quantité d'air chaud passe dans le tuyau à fumée, et il en résulte seulement une perte d'effet utile.

1512. On voit d'après cela qu'il est important dans tous les calorifères, de diminuer autant que possible les joints qui ne peuvent pas être rendus étanches, et qu'il serait dangereux de ne laisser aux foyers qu'un faible tirage, et par conséquent que, même en produisant le tirage pendant le chauffage, il n'est pas toujours convenable d'employer de trop grandes surfaces de chauffe.

1513. La figure 10 représente une coupe transversale d'un appareil disposé d'une autre manière. Il est composé d'un certain nombre de tuyaux de fonte, ayant la forme d'un Y renversé, placés verticalement les uns à côté des autres. L'air brûlé sorti du foyer, parcourt le carneau A, revient en avant dans le carneau B, et retourne par le carneau C qui le conduit à la cheminée. N, N, sont les canaux qui amènent l'air qui doit être échauffé ; M est la chambre à air chaud. Cet appareil est bien préférable sous tous les rapports à ceux que nous avons décrits, parce qu'il renferme beaucoup moins de joints, et que ces joints étant formés par une épaisseur de maçonnerie très-considérable, malgré les mouvements qui résultent de la dilatation, ont peu de jours ; mais la fumée est nécessairement abandonnée à une température assez élevée. On pourrait fixer à la partie verticale des tuyaux, d'autres tuyaux disposés comme l'indiquent les lignes ponctuées de la figure, et qui formeraient le plafond des carneaux supérieurs ; les joints de ces tuyaux pourraient être en mastic de fonte. Il serait utile de recouvrir le foyer d'une voûte qui se prolongerait à une certaine distance pour éviter de chauffer au rouge les tuyaux voisins du foyer. Il est évident qu'il serait aussi très-avantageux d'employer des tuyaux de fonte garnis d'appendices intérieurs, ou d'employer les dispositions des figures 7, 8 et 9.

1514. Les figures 11 et 12 sont deux coupes, l'une verticale, l'autre horizontale, d'un calorifère qui pourrait être placé dans la pièce qui doit

être échauffée, ou dans une cave, en lui faisant une enveloppe de briques. La figure 11 est une coupe verticale suivant la ligne *xx'* (fig. 12); et cette dernière, une coupe suivant *yy'* (fig. 11). L'air brûlé se promène dans les carneaux A,A,A, et l'air s'échauffe en montant dans les canaux B,B,B. Cet appareil, étant entièrement construit en tôle forte, donnerait certainement de très-bons résultats; mais il serait d'un prix élevé, et on pourrait craindre que les feuilles de tôle les plus voisines du foyer ne fussent promptement détériorées et ne donnassent à l'air une mauvaise odeur si les premières surfaces de chauffe n'étaient pas recouvertes d'un enduit d'argile, ou de brique de champ.

1515. Le calorifère représenté en coupes verticale et horizontale, figures 1 et 2 (pl. 84), est analogue à ceux que nous venons de décrire. La fumée du foyer A passe successivement du cylindre B dans les trois enveloppes concentriques C, D, E, la première en fonte, les deux autres en tôle; elle y est conduite successivement par quatre tuyaux *aa, bb, cc, dd,* de même section que les anneaux, et qui sont placés de manière à ne pas être en regard; une cloison verticale placée dans chaque canal annulaire, en avant du tuyau de communication avec l'anneau intérieur, oblige la fumée à le parcourir en totalité avant de se répandre dans l'anneau suivant. Les cylindres de tôle tout ouverts M et N sont destinés à être échauffés par la chaleur rayonnante émanée des anneaux qui les enveloppent, et à céder ensuite cette chaleur à l'air par le contact. La fumée s'écoule par le tuyau X. L'appareil est environné, comme le précédent, d'une enveloppe qui dirige l'air chaud dans le lieu que l'on veut échauffer. Les canaux annulaires sont fermés par des couvercles dont les joints sont faits avec de la terre argileuse; on les enlève facilement pour nettoyer les carneaux, mais il faut pour cela pénétrer dans l'appareil.

1516. La figure 13 (pl. 78) est une coupe d'un appareil très-simple, dans lequel les tuyaux à fumée se nettoieraient facilement. L'appareil dont les figures 14 et 15 présentent une élévation et une coupe verticale, est du même genre; tous deux produiraient un assez grand effet utile, en supposant que l'air ne fût pas élevé à une trop haute température, parce que le mouvement de l'air chaud a lieu dans le même sens que celui de la fumée.

1517. Dans l'appareil, figures 16 et 17, l'air brûlé circule alternative-

ment de bas en haut et de haut en bas. Cet appareil a surtout l'inconvénient de ne pas pouvoir se nettoyer facilement.

1518. *Calorifère de Désarnod.* Cet appareil est représenté dans les figures 18, 19, 20 et 21 (pl. 78). La figure 18 est une élévation; la figure 19, une coupe verticale suivant la ligne *xx'* (fig. 20); la figure 20, une coupe horizontale suivant la ligne *yy'* (fig. 19); et la figure 21, une coupe également verticale suivant la ligne *zz'* (fig. 19). Tout l'appareil est en fonte, excepté les deux surfaces enveloppantes qui sont en tôle. A, foyer; B, lanterne dans laquelle se rend d'abord l'air brûlé; C,C,C, tuyaux par lesquels l'air brûlé descend simultanément dans une couronne annulaire située à la hauteur de la grille; D,D,D, tuyaux par lesquels la fumée s'élève dans la lanterne E, d'où elle se rend dans la cheminée; F, cendrier; G, tuyau de dégagement de l'air chaud; H, double enveloppe dans laquelle circule de l'air qui s'empare de la chaleur absorbée par l'enveloppe intérieure; I, porte du foyer; K, porte pour l'introduction de l'air sous la grille; L, tiroir pour enlever les cendres. Cet appareil a l'avantage de renfermer une grande étendue de surface de chauffe bien disposée dans un petit espace, et de ne pas diminuer le tirage par des circulations trop longues. Mais il faut le démonter complétement pour le nettoyer, et, par conséquent, il serait bien incommode d'y brûler d'autre combustible que du coke. En outre, il renferme bien des joints qui ne peuvent se fermer qu'avec de l'argile, et qui, par conséquent, doivent laisser passer de la fumée dans l'air chaud, quand le tirage de la cheminée étant très-faible, celui de la colonne d'air chaud est très-grand, comme nous l'avons déjà dit en parlant de plusieurs autres appareils. Enfin la prise d'air du foyer n'étant pas distincte de celle du calorifère, il peut en résulter quelquefois des inconvénients, surtout quand on allume le feu.

1519. Les figures 1 et 2 (pl. 79) appartiennent à un calorifère disposé de la même manière, mais dans lequel les deux prises d'air sont distinctes, et qui renferme une troisième enveloppe destinée à diminuer la transmission de la chaleur dans la pièce où le calorifère est placé.

1520. *Calorifère de M. Chaussenot.* Les figures 3, 4, 5 et 6 (pl. 79), donnent une idée complète de cet appareil. A, foyer surmonté d'une cloche en fonte B et d'un tuyau C; D, grille; E, cendrier; F, porte du foyer; G, tuyau enveloppant la cheminée C: il s'appuie sur la maçon-

nerie au-dessus de la cloche B; H,H′,H″,H‴, quatre couronnes creuses en tôle dans lesquelles circule l'air brûlé; I,I, tuyaux de communication entre les couronnes; K,K,K, portes par lesquelles on pénètre dans les couronnes pour les nettoyer. L, tuyau de sortie de la fumée débouchant dans la couronne inférieure et s'élevant au-dessus du calorifère; M, tuyau pour le dégagement de l'air chaud; N, ouverture par laquelle arrive l'air extérieur, qui s'échauffe par son passage entre les tuyaux C et G; O, autre canal pour l'admission de l'air froid qui passe autour des couronnes creuses; P,P, cloisons établies dans les couronnes et qui forcent l'air brûlé à en parcourir toute la surface; Q, cloisons qui obligent l'air à circuler autour des couronnes.

Cet appareil est maintenant employé dans un grand nombre d'ateliers. D'après le rapport fait à la Société d'encouragement, cet appareil permettrait d'utiliser jusqu'à 0,6 de l'effet total du combustible; ce serait fort peu, beaucoup moins que la plupart des calorifères ordinaires. Mais à l'évaluation numérique donnée par la Commission, il manque deux éléments importants, la quantité de combustible consommée par heure, et l'étendue de la surface de chauffe; car il est facile de comprendre que dans un appareil donné, l'effet utile relatif augmente à mesure que la quantité de combustible consommé diminue, et dans les appareils du genre de celui de Chaussenot, où le tirage a réellement lieu avant le chauffage, le tirage peut être très-bon pour des consommations de combustible très-variables. Il aurait été aussi très-important de connaître la température à laquelle l'air brûlé abandonnait l'appareil, car cette température seule aurait permis d'apprécier avec assez d'approximation l'effet du calorifère.

Les boîtes annulaires de cet appareil sont chères, d'une construction difficile, et malgré les portes ménagées à leur contour, elles ne peuvent pas être nettoyées derrière la cloison P, comme il est facile de s'en assurer à la seule inspection des figures 5 et 6.

1521. Une disposition qui serait bien préférable aux boîtes annulaires, consisterait en quatre tuyaux se pénétrant à angle droit, qui embrasseraient l'enveloppe G comme les boîtes, dont les prolongements traverseraient la maçonnerie et seraient fermés par des tampons qui permettraient de les nettoyer facilement; il y aurait quatre étages de tubes, et chacun communiquerait à l'étage inférieur par un tube, analogue aux

tubes I, et placé derrière une cloison qui forcerait l'air brûlé à parcourir tout le circuit des tubes. Cette disposition serait beaucoup plus simple, d'un prix moins élevé, l'effet utile serait au moins aussi grand, et les circuits pourraient être parfaitement nettoyés.

1522. Les figures 7 et 8 (pl. 79) représentent deux coupes verticales perpendiculaires entre elles, d'une disposition que l'on pourrait aussi employer. L'air brûlé, parvenu au sommet de la colonne qui surmonte le foyer, descend dans un espace annulaire étroit, formé par deux cylindres de tôle concentriques, d'où il s'échappe ensuite dans la cheminée. L'air brûlé s'étale dans tout le conduit, comme nous l'avons déjà remarqué plusieurs fois; et l'intervalle des deux cylindres peut être facilement nettoyé par la partie supérieure, en enlevant l'entonnoir renversé qui reçoit l'air échauffé, et ensuite le couvercle annulaire qui ferme le conduit à la partie supérieure.

1523. Pour de grands ateliers, l'appareil représenté par les figures 9 et 10, dont la première est une coupe verticale, et la seconde une projection horizontale, serait préférable encore, à cause de la facilité du nettoyage. L'air chaud, parvenu à l'extrémité supérieure du tuyau placé au-dessus de la caisse du foyer, descend en parcourant successivement une série de tuyaux de fonte horizontaux, disposés de manière que l'air chaud qui s'élève de bas en haut soit obligé de rencontrer leurs surfaces. Cette disposition serait très-convenable pour éviter que, par un grand appel de l'air échauffé et un faible tirage dans la cheminée, il ne passât une certaine quantité de fumée à travers les joints, car dans l'appareil dont il est question, tous les joints pourraient être en mastic de fonte. Cet appareil serait surtout avantageux pour chauffer de l'air à une température élevée.

1524. M. René Duvoir construit des calorifères fondés sur le même principe que le dernier dont nous venons de parler. Un de ces calorifères est représenté par les figures 3, 4, 5 et 6 (pl. 113). La figure 3 est une élévation; la figure 4, une coupe suivant xx' (fig. 6); la figure 5, une coupe verticale suivant yy' (fig. 6); et la figure 6, une coupe horizontale suivant zz' (fig. 4). Le foyer est placé dans un cylindre en fonte A revêtu de briques réfractaires jusqu'à une certaine hauteur; l'air brûlé descend simultanément par les deux rangées de tuyaux B, C, D, E, F et B', C', D', E', F', s'élève ensuite dans le cylindre G, d'où il passe dans

la cheminée G. L'air qui doit être chauffé arrive par les canaux souterrains I, I, s'élève simultanément autour des cylindres A, B, et des deux rangées de tuyaux, et se réunit dans la capacité K, d'où il est conduit dans les lieux où il doit être utilisé. Tous les cylindres sont en fonte et les joints au ciment de fer. Le foyer a deux portes, l'une, celle qui est inférieure, est destinée au nettoyage de la grille, l'autre à l'introduction du combustible. L'anthracite brûle très-bien dans cet appareil, et on en peut charger le foyer pour 7 à 8 heures.

Lorsqu'on allume le feu pour la première fois dans ce calorifère, le tirage est très-faible, parce que la chaleur est absorbée presque à mesure de sa production, par la masse de fonte qui environne le foyer, et la mise en train exige que l'on chauffe d'abord la cheminée. Pour cela il y a dans le cylindre G un petit foyer additionnel qu'on n'allume que quand l'appareil a été pendant plusieurs jours sans fonctionner et qu'il est complétement froid. On a remarqué que dans ce calorifère, les houilles grasses se distillent en grande partie, à cause de la haute température de l'enveloppe du foyer, et du faible tirage qui résulte du grand refroidissement qu'éprouve la fumée. Les houilles sèches et les anthracites sont les combustibles qui conviennent le mieux dans cet appareil, comme dans la plupart des autres calorifères.

1525. Les figures 1, 2 et 3 (pl. 80) représentent une élévation et deux coupes transversales d'un calorifère à tuyaux horizontaux, traversés simultanément par l'air qui doit être échauffé. A, foyer. B, canal parcouru par l'air brûlé. C, tuyau qui conduit l'air brûlé à la cheminée. D, tuyaux de fonte. E, canal qui amène l'air froid. F, canal qui reçoit l'air chauffé dans les tuyaux et le conduit au tuyau d'écoulement G. H, orifices fermés par des tampons, qui permettent de nettoyer les carneaux.

1526. Les figures 4, 5 et 6 (pl. 80) appartiennent à un calorifère dans lequel les cylindres sont encore horizontaux, mais disposés par rangées verticales. La figure 4 est une coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 6); la figure 5 une coupe verticale suivant yy' (fig. 6); et la fig. 6 une coupe horizontale suivant zz' (fig. 4). A, foyer. B, carneaux, dont les parois sont formées par les tuyaux. C, cheminée. D, tuyaux. E, entrée de l'air extérieur, qui ne pénètre que dans les deux dernières rangées de tuyaux. F, premier réservoir de l'air chaud, qui de ce réservoir passe dans les deux rangées de tuyaux suivants. G, second réservoir d'air

chaud, qui reçoit l'air du premier et le fait passer dans les deux dernières rangées. H, dernier réservoir d'où l'air chaud se dégage dans le canal qui le conduit dans les pièces où il est utilisé. Cette disposition est très-bonne quand l'air doit être porté à une température élevée.

1527. Les figures 7, 8 et 9 (pl. 80) représentent un appareil dans lequel l'air brûlé passe simultanément autour de tous les tuyaux. Figure 7, coupe verticale suivant la ligne *yy'* (fig. 9). Figure 8, coupe verticale suivant la ligne *xx'* (fig. 7). Figure 9, coupe horizontale suivant la ligne *zz'* (fig. 7).

1528. La figure 10 (pl. 80) est une indication de la disposition qu'il faudrait employer dans le calorifère précédent pour échauffer l'air à une haute température. L'air froid passe successivement à travers une rangée horizontale de tuyaux dans les réservoirs A, B, C, D, E. Cette disposition est très-bonne.

1529. Dans les figures 11 et 12 (pl. 80) on a indiqué deux modes différents de circulation de l'air brûlé autour des tuyaux.

1530. Les figures 1 et 2 (pl. 81) sont deux coupes, l'une verticale, l'autre horizontale, d'un calorifère analogue à celui qui est représenté dans les figures 4, 5 et 6 (pl. 80), mais dans lequel les rangées de tuyaux sont remplacées par des caisses en tôle. Le calorifère est supposé destiné à chauffer, au moins en partie, la pièce dans laquelle il est placé. Pour l'établir dans une cave, il suffirait de donner un revêtement en briques aux parties qui se trouvent au delà du foyer. Les figures 3 et 4 représentent les élévations de deux calorifères de l'espèce de celui que nous venons de décrire, et destinés à être placés dans des pièces qui doivent être échauffées; la figure 5 est une coupe horizontale de la figure 3.

1531. *Calorifères de la Chambre des pairs et de la Chambre des députés.* Les calorifères construits par MM. Roaud et Musard d'après les plans de M. Talabot sont représentés dans les figures 6, 7, 8, 9, 10 et 11 (pl. 81). La figure 6 est l'élévation de deux calorifères contigus; de chaque côté des portes se trouvent des coffres en briques qui reçoivent l'air chaud qui a traversé les tuyaux; une caisse, qui forme une saillie au-dessus, reçoit l'air chaud qui s'échappe d'un tuyau placé dans la verticale des portes pour le conduire dans le même réservoir. La figure 7 est une élévation du calorifère par un des bouts; la figure 8, une coupe verticale

par un plan ondulé *xx'* (fig. 10); la figure 9, une coupe verticale passant par la ligne *yy'* (fig. 11); la figure 10, l'élévation de la face antérieure du calorifère, dans lequel on a supprimé le réservoir à air chaud, qui en couvre une partie, et qui est indiqué figure 6; la figure 11 est une coupe verticale passant par la ligne *zz'* (fig. 9). A, foyer. B, ouvertures voûtées par lesquelles l'air brûlé, en sortant du foyer, pénètre dans la chambre où se trouvent les tuyaux. C, tuyaux. L'air brûlé circule librement autour des tuyaux qui forment les deux premières rangées; des briques placées entre ceux qui forment les dernières, obligent l'air brûlé à suivre le chemin indiqué par les flèches; l'air brûlé parcourt ensuite un canal placé dans le sol pour se rendre à la cheminée. Les figures 12 et 13 représentent le détail des armatures; les cornières (fig. 12) sont en fonte. Ces calorifères donnent de très-bons résultats, et depuis plusieurs années qu'ils ont été établis à la Chambre des députés, ils n'ont exigé aucune réparation. Avec les dimensions indiquées par les figures, on peut brûler 10 kilogr. de houille par heure. L'air qui sort de ces appareils n'a pas d'odeur sensible, attendu qu'il n'y a qu'un très-petit nombre des tuyaux, les plus voisins du foyer, qui prennent la chaleur rouge sombre quand le tirage est très-actif. L'air brûlé s'échappe d'ailleurs à une température peu élevée, et cependant le tirage est très-bon, car la combustion s'effectue bien, même avec les cendriers presque fermés, et l'air extérieur est fortement appelé dans l'intérieur des fourneaux à travers les fissures des briques, de sorte qu'il n'est pas à craindre que la fumée puisse pénétrer dans l'air chaud. Mais la cheminée a une très-grande section.

Ces appareils seraient cependant susceptibles de quelques modifications. 1° Il faudrait donner aux collets des tuyaux un plus grand diamètre, parce qu'alors les tuyaux serviraient d'armatures transversales; 2° les tuyaux devraient être garnis d'appendices intérieurs (fig. 6...9, pl. 78), qui augmenteraient beaucoup leur effet utile et permettraient d'en diminuer le nombre; 3° il faudrait ménager sur les bouts des calorifères des regards qui permissent de nettoyer de temps en temps la surface des tuyaux.

1532. Dans les calorifères à tubes horizontaux, on pourrait évidemment faire passer l'air brûlé dans les tubes, et en dehors l'air qui doit être échauffé; mais il faudrait que l'air brûlé traversât successivement les différentes rangées de tubes de haut en bas. Cette disposition serait surtout applicable à la ventilation des mines par la chaleur, lorsqu'il pourrait être

dangereux de brûler le combustible dans la cheminée d'appel elle-même.

1533. *Calorifère de M. Leturc.* Des appareils de ce genre ont été établis dans le bâtiment des archives de la guerre, et il paraît qu'on est assez satisfait de leur usage. Leur disposition a peu d'analogie avec celles que nous avons décrites précédemment. Les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (pl. 82) représentent l'appareil dont il est question. Figure 1re, élévation. Figure 2, coupe verticale suivant *uu'* (fig. 5). Figure 3, coupe verticale suivant *vv'* (fig. 6). Figure 4, coupe horizontale suivant *xx'* (fig. 1re). Figure 5, coupe horizontale suivant *yy'* (fig. 2). Figure 6, coupe horizontale suivant *zz'* (fig. 2). A, foyer. B, cloche en fer qui surmonte le foyer. C, canal annulaire dans lequel passe l'air brûlé au sortir du foyer. D, canal rampant que parcourt l'air brûlé avant de pénétrer dans la cheminée. E, canal dans lequel arrive l'air froid : il passe d'abord autour du tuyau C, et circule ensuite autour de la cloche B, dans un canal rampant F. G, réservoir à air chaud. H, tuyaux d'écoulement de l'air chaud. I, vides ménagés dans la maçonnerie pour diminuer sa conductibilité. K, tuyau de dégagement de l'air brûlé.

Cet appareil a bien des inconvénients; il est compliqué, d'une construction difficile, et il ne peut être réparé qu'après avoir été complétement démoli. Je doute fort que l'effet utile qu'il produit soit aussi considérable que celui des calorifères à tubes; du reste, on n'en a pas construit d'autres que ceux qui sont aux archives de la guerre.

1534. *Calorifères anglais.* Les calorifères que l'on a construits depuis quelques années en Angleterre sont très-différents de ceux que nous venons de décrire. On trouve dans les *Annales de l'industrie,* t. XVII, la traduction d'un article qui contient des détails très-circonstanciés sur celui qui a été établi dans l'hôpital général du Derbyshire, et sur plusieurs autres de même genre. Nous donnerons la description d'un de ces appareils, nous rapporterons le résultat des expériences qui ont été faites, et nous indiquerons les circonstances dans lesquelles cette disposition pourrait être avantageusement employée.

Le calorifère de Derbyshire est composé (fig. 1re et 2, pl. 83) d'une grande cloche de tôle de 5 millimètres d'épaisseur, ayant la forme d'un prisme quadrangulaire surmonté d'une calotte formée de deux cylindres qui se pénètrent à angle droit, comme une voûte de cloître. Cette cloche est posée sur le foyer, qui est en forme de trémie. Sur deux

côtés opposés de la partie inférieure de la cloche se trouve une ouverture large de 12 millimètres qui se prolonge sur tout le côté; ces ouvertures sont destinées à évacuer la fumée et à la conduire dans un canal horizontal qui aboutit à la cheminée. Comme ces ouvertures sont sujettes à s'obstruer par la suie, en avant de l'appareil se trouvent deux tringles dont les extrémités sont garnies de petites plaques, qui par le mouvement des tringles parcourent les ouvertures dont nous venons de parler et les dégorgent de la suie qui aurait pu s'y amasser. Autour de la cloche existe une enveloppe en maçonnerie de même forme, et qui en est distante de 20 centimètres. Cette enveloppe est percée dans toute son étendue d'un grand nombre d'ouvertures égales et circulaires dans lesquelles sont scellés des tuyaux de même diamètre, ouverts par les deux bouts, et qui pénètrent dans l'espace vide situé entre la cloche et son enveloppe jusqu'à deux centimètres de la cloche. Cette enveloppe est environnée de murailles terminées par une voûte, à la partie supérieure de laquelle se trouve un canal qui conduit l'air chaud dans le lieu que l'on veut échauffer. L'espace compris entre la première et la seconde enveloppe est séparé en deux parties par une cloison horizontale; la partie inférieure est en communication avec l'air froid qui doit être échauffé, l'autre reçoit l'air chaud. D'après cette description on voit que l'air froid arrive sur la surface extérieure de la cloche par les tubes qui sont placés au-dessous du diaphragme, qu'il s'élève ensuite en cheminant entre les tubes placés au-dessus, et qu'il se dégage dans le réservoir d'air chaud par les tubes supérieurs qui sont de plus en plus inclinés. W, muraille extérieure formant la seconde enveloppe et supportant la voûte de la cavité *z*. L, foyer. *b*, châssis contenant une plaque à coulisse pour laisser échapper les cendres. F, tuyau en fonte pour l'introduction du combustible. P, embrasure voûtée de la porte du foyer. *e*,*e*, ouvertures de 12 millimètres de largeur par lesquelles la fumée entre dans le canal *f*. A, cloche en tôle. R,R, tirettes pour nettoyer les ouvertures *e*,*e*. B, première enveloppe de la cloche garnie de tuyaux. *xx*, diaphragme en brique qui force l'air froid à entrer dans l'enveloppe B, en passant par les tuyaux inférieurs.

Il paraît, d'après une expérience faite sur ce calorifère, qu'un kilogr. de houille échauffe 252 mètres cubes d'air, ou 327 kilogr. de 33°, ou 10790 kilogr. d'air de 1°. Ainsi l'effet utile d'un kilogr. de houille est de

2700 unités de chaleur. Par une expérience faite plus récemment avec un calorifère portatif construit sur le même principe, mais amélioré, l'auteur a échauffé 12500 kilogr. d'air de 1° par chaque kilogr. de houille. Ces résultats font voir que dans les calorifères dont il est question, la chaleur est employée bien moins avantageusement que dans les autres appareils; la raison en est évidente, la surface de chauffe est trop petite, et on n'utilise presque que la chaleur rayonnante. Cette disposition a cependant l'avantage d'empêcher le métal, chauffé directement par le foyer, d'acquérir une température élevée, à cause du courant d'air froid injecté sur sa surface.

1535. Depuis l'époque de l'apparition des calorifères dont il est question, on en a construit sur de plus grandes dimensions, en donnant aux tubes une enveloppe en fer au lieu d'une enveloppe en briques. La cloche est plus longue que dans les premiers, d'environ la profondeur du foyer; celui-ci est en fer forgé, il a la forme d'une trémie sur trois côtés, et la paroi antérieure va rejoindre verticalement la cloche; il est entouré de briques sur les trois côtés obliques, et sur le devant il a une ouverture pour l'introduction du combustible. Par cette disposition, le conduit de la fumée commence dans un petit espace à droite et à gauche de la cloche, entre elle et la partie extérieure du foyer, et sur une largeur d'environ 1 centimètre; cet espace, en raison de la forme en trémie du foyer, s'élargit en descendant, de telle sorte qu'au niveau de la grille il a une largeur assez considérable ; ces cavités latérales se réunissent à une cavité semblable, pratiquée sur la partie postérieure du foyer, d'où la fumée passe dans un canal construit sous le sol, et ensuite dans la cheminée. Cette dernière partie du canal qui conduit la fumée à la cheminée est séparée du cendrier par une porte de fer qui s'ouvre à volonté pour permettre de nettoyer les conduits de la fumée.

Comme l'air qui entre par la rangée la plus basse des tubes, doit s'élever entre les tubes de la deuxième rangée; que celui qui entre par la première et la deuxième doit passer entre les tubes de la troisième; et finalement, que l'air qui est entré par tous les tubes au-dessous de la rangée la plus élevée de la chambre à air frais doit passer entre ceux-ci pour gagner la chambre à air chaud, où il se dégage; il s'ensuit que l'espace compris entre les tubes de la rangée la plus élevée doit être égal à la somme des surfaces des bouches de tous les tubes qui sont au-dessous

de cette rangée, afin que l'air, dans sa course, ne soit pas obligé de changer de vitesse. Ces considérations ont engagé l'auteur à donner aux calorifères la forme indiquée.

Dans les figures 3 et 4 (pl. 83), *abc* est l'enveloppe de fer renfermant les tubes dont les extrémités s'approchent à un centimètre environ de la cloche. La porte D sert à l'alimentation du foyer. *n,n* sont des ouvertures pour le dégagement de la fumée; *r,r* sont les tirettes qui servent à nettoyer ces ouvertures. A est le cendrier. EF le niveau du sol. Le conduit d'air frais communique avec l'atmosphère par un chapeau tournant, dont la bouche est présentée au vent, de sorte que cet air froid est tout à fait séparé du cendrier et du foyer; il passe librement entre les pieds droits K, monte de là dans la cavité M, entre de tous côtés par les petits tubes, va frapper la cloche échauffée, passe à travers la rangée supérieure des tubes, et arrive dans la cavité C, désignée sous le nom de chambre à air chaud; là il a atteint la température qu'il doit avoir, et se répand par des tuyaux dans les chambres à échauffer.

1536. *Calorifère à anthracite de Picot* (1). « Dans plusieurs maisons de Philadelphie, on emploie des calorifères chauffés à l'anthracite. La construction de ces calorifères est assez imparfaite. Ils ne chauffent directement qu'une partie des appartements, quoique les maisons américaines, construites sur le modèle anglais et occupées de même par une seule famille, soient fort petites. Il n'y a que trois bouches de chaleur, toutes au rez-de-chaussée : l'une au salon; la seconde dans la salle à manger, qui est attenante; la troisième dans le passage placé derrière la porte d'entrée de la maison, devant l'escalier. Le calorifère que M. Picot a établi chez lui chauffe en outre directement les deux étages supérieurs.

« Il est représenté en plan (fig. 6, pl. 83) à la hauteur XX (fig. 5); en coupe (fig. 5) suivant YY (fig. 6), et en élévation de face (fig. 7). Ce calorifère, placé dans la cave, selon l'usage, consiste en un coffre M en fonte à calotte cylindrique, enfermé dans l'espace EEEE à calotte de même forme, mais maçonné en briques et faisant l'office de chambre de chaleur. L'air qui a servi à la combustion, après avoir traversé la chauffe

(1) Cet article est extrait du mémoire de M. Chevalier sur les poêles à anthracite d'Amérique. *Journal d'architecture, etc.*

A, passe de M dans le gros tuyau cylindrique en tôle B, et se rend de là au dehors par le tuyau de tôle CCCC, logé dans une des ci-devant cheminées de la maison, qui est fermée par le haut et par le bas, et convertie ainsi en un réservoir d'air chaud. L'air froid, destiné à être jeté dans les appartements, arrive de l'extérieur par le tube en fer-blanc F, d'où il passe en *ff* derrière une enveloppe en briques *aaa* de $0^m,10$ d'épaisseur, dont la chambre de chaleur EEEE est entourée. Il entre ensuite dans EEEE par les ouvertures *i*, distribuées au pied de *aaa*.

« Dans le conduit horizontal qui unit M au gros tuyau B, est une soupape *c* servant à régler la quantité d'air qui sort de la chauffe et par conséquent celle qui y entre. Par là on modère à volonté la combustion et par suite la production de chaleur.

« L'air chaud de la chambre de chaleur se partage en deux parties : l'une, en suivant la cheminée DD, se rend dans les pièces exposées au nord ; l'autre, par l'ouverture R, se dirige vers les chambres tournées du côté du midi. Grâce au tuyau CCCC, il arrive plus de chaleur au nord qu'au midi.

« La grille *nn* doit, comme dans tous les foyers à anthracite, être combinée de manière à permettre de secouer le feu rapidement, sans ouvrir le fourneau. Elle offre, dans sa ligne milieu, un écartement des barreaux auquel correspond, en dessous, une barre ronde en fer *gh*. La barre *gh* s'appuie au fond de la chauffe, par son extrémité *g*, dans une cavité ménagée dans le pourtour de la grille. Elle est d'ailleurs soutenue par la barre transversale *m*, et l'est enfin par la plaque *l*, au travers de laquelle elle passe. Dans l'état ordinaire des choses, *gh* fait l'office de barreau du milieu de la grille. En saisissant par la poignée *h* la barre *gh*, et en la remuant dans le plan vertical, on met en mouvement tout ce qui est dans le foyer, ce qui fait tomber la cendre. On a aussi la ressource de faire passer un ringard par l'ouverture *s* (fig. 5 et 7), qui est située à l'avant, au-dessus de la grille, et contre laquelle on tient appliquée habituellement, en guise de tampon, une plaque de fonte. On peut même vider la chauffe en retirant complétement la barre *gh* par l'avant du fourneau. La charge tombe alors par la large ouverture qui se présente entre les deux moitiés de la grille à la place de *gh*.

« La grille est formée de barreaux indépendants les uns des autres, afin qu'on puisse les renouveler avec économie.

« La chaleur sèche des calorifères et des poêles porte à la tête. Pour remédier à cet inconvénient, M. Picot a placé dans la chambre de chaleur un récipient plat en fonte K, dans lequel on entretient une certaine quantité d'eau. L'air chaud se mêle ainsi à une suffisante proportion de vapeur aqueuse. On renouvelle aisément l'eau, parce que le récipient s'avance en dehors du calorifère par le bec *b*, recouvert d'une plaque de fonte qui ferme le passage à l'air extérieur.

« Au-dessous de la grille *nn* est une seconde grille *tt*, sur laquelle on recueille les charbons qui ont passé au travers des barreaux, afin de les recharger. Le cendrier véritable O est sous *nn*.

« Le foyer a été construit de manière à permettre, au besoin, l'emploi du bois au lieu de l'anthracite. Pour cela il suffirait d'allonger la chauffe aux dépens du massif de maçonnerie V, qui a été placé en arrière.

« Pour nettoyer le tuyau vertical CCCC, où s'amasse toujours une certaine quantité de poussière et de suie, il suffit d'enlever le tampon *d* qui le termine, et d'y promener de haut en bas un boulet suspendu à une chaîne.

« P est une porte dont on ne se sert que pour pénétrer dans le calorifère en cas d'accident, ou afin de manier la soupape *c*.

« Ce calorifère fonctionne si bien que, pendant un espace de quatre mois, la température a été rigoureusement maintenue dans la maison de M. Picot, nuit et jour, entre 16°, 34 et 20° centigr. (62° et 68° Farh.). »

1537. *Considérations générales sur les calorifères destinés à chauffer l'air à une température peu élevée.* D'abord, tous les calorifères que nous avons décrits pourraient produire le même effet utile si les surfaces de chauffe avaient une étendue suffisante. Mais, en général, ceux dans lesquels les tuyaux sont parcourus par l'air brûlé exigent, dans les mêmes circonstances, des surfaces de chauffe plus petites que les autres, parce que la surface intérieure de l'enveloppe doit être comptée comme surface de chauffe.

1538. En mettant à part les calorifères anglais, et le calorifère de M. Leture qui a beaucoup d'analogie avec eux, appareils qui n'utilisent guère que la chaleur rayonnante du combustible, à moins qu'au delà de la cloche qui recouvre le foyer il n'y ait des surfaces de chauffe suffisantes pour refroidir convenablement l'air brûlé, les calorifères peuvent se diviser en trois classes : ceux dans lesquels l'air qui s'échauffe marche dans

le même sens que l'air brûlé; ceux dans lesquels l'air chaud chemine perpendiculairement au mouvement de l'air brûlé; et enfin ceux dans lesquels les deux courants marchent en sens contraire, au moins dans une certaine étendue de trajet.

1539. Dans la première classe, celle où l'air et la fumée marchent dans le même sens, se trouvent le calorifère de M. Duvoir (pl. 76), ceux qui sont représentés figures 14, 15 (pl. 78), 1 et 2 (pl. 79), en partie celui des figures 16 et 17 (pl. 78), ainsi que le calorifère de Désarnod, figures 18, 19, 20 et 21 (pl. 78). Cette disposition, qu'on regarde comme très-défavorable, l'est réellement très-peu, toutes les fois que l'appareil doit chauffer un grand volume d'air à une température peu élevée, et que l'air brûlé doit être abandonné à une température supérieure à 100°, ce qui est le cas le plus ordinaire, du moins quand il serait dangereux que la fumée s'introduisît dans l'air chaud, parce que, dans toutes les dispositions les excès moyens de température de la fumée et de l'air chaud diffèrent peu. Mais la disposition dont il est question serait très-mauvaise si l'air devait être porté à une très-haute température.

1540. Dans la seconde classe, celle où l'air qui doit être échauffé traverse perpendiculairement le courant d'air brûlé, se trouvent le calorifère à tubes verticaux fig. 1 à 13 (pl. 78), et ceux qui sont représentés dans les planches 77 et 80. Ces dispositions sont les meilleures qu'on puisse employer lorsqu'on se propose d'échauffer un grand volume d'air à une température peu élevée; car toutes les parties du tuyau à fumée sont rencontrées simultanément par de l'air froid, par conséquent la transmission de la chaleur est plus grande, les surfaces de chauffe sont mieux utilisées, et on peut refroidir la fumée à une plus basse température que dans toutes les autres dispositions. Parmi ces appareils, ceux qui renferment des tubes horizontaux traversés par l'air, doivent être préférés aux autres, quoiqu'ils exigent plus de surface de chauffe, parce qu'ils sont d'une construction plus simple, moins chers, moins sujets aux réparations, et qu'ils renferment moins de joints fermés par de la terre. Je ne pense pas qu'il y ait une très-grande différence dans les effets utiles produits par les calorifères à tubes horizontaux, selon que les rangées de tubes sont placées horizontalement ou verticalement.

1541. Enfin, les calorifères de la dernière classe, ceux dans lesquels l'air brûlé et l'air à échauffer marchent en sens contraire, au moins dans

une partie du trajet, classe à laquelle appartiennent l'appareil de M. Chaussenot, ceux des figures 7, 8, 9 et 10 (pl. 79), et celui de M. René Duvoir (pl. 113), ont sur tous les autres un grand avantage, toutes les fois qu'il s'agit d'échauffer de l'air à une température élevée; car les surfaces de chauffe sont mieux utilisées, et l'étendue seule de la surface de chauffe, pour la même consommation de combustible, limite l'abaissement de température que l'on peut atteindre dans l'air brûlé, du moins quand le tirage est suffisamment établi par la colonne ascendante qui se trouve au-dessus du foyer. Mais, comme nous l'avons déjà dit, quand on doit échauffer un grand volume d'air à une basse température, il y a fort peu de différence dans l'effet utile produit par les trois dispositions dont nous venons de parler.

1542. Dans tous les calorifères à tubes, on pourrait remplacer la fonte par de la terre cuite; il en résulterait une grande économie dans les frais de construction; mais l'appareil devrait être disposé de manière à ce que l'on pût facilement remplacer un tube qui viendrait à casser.

1543. Pour les calorifères employés à chauffer l'air de ventilation des lieux habités, indépendamment de l'économie des frais de construction et de chauffage, et de la facilité du nettoyage des tuyaux à fumée, il y a encore deux conditions importantes à remplir : il faut 1° que le tirage de la cheminée soit très-grand, afin que la fumée ne puisse jamais être appelée dans l'air chaud par les fissures des joints, 2° que les surfaces de chauffe ne puissent jamais acquérir une température assez élevée pour donner à l'air une mauvaise odeur.

1544. Dans chaque cas particulier, l'effet à produire étant donné, la disposition du calorifère pourra être choisie par les considérations précédentes; on déterminera la quantité maximum de combustible à brûler par heure, en supposant un effet utile égal à 0,80 de sa puissance calorifique; on calculera ensuite la surface de la grille comme pour les foyers des chaudières à vapeur; on prendra 2 mètres carrés de surface de chauffe réelle par kilogramme de houille à brûler par heure; et enfin on calculera la section de la cheminée et des canaux de circulation de la fumée, comme nous l'avons indiqué (406), en supposant que la température moyenne de l'air brûlé dans la cheminée soit de 200°.

Calorifères destinés à chauffer l'air à une haute température.

1545. Pour le chauffage de l'air à une haute température, l'économie des surfaces de chauffe et du combustible exigent nécessairement que l'air brûlé et celui qui doit être échauffé marchent en sens contraire.

1546. Les figures 3 et 4 (pl. 84) représentent la disposition la plus simple d'un appareil de chauffage d'air à haute température. La première est une coupe verticale dans le sens de la longueur de l'appareil; la seconde, une coupe horizontale suivant la ligne xx' de la première. A est le foyer; B, des tuyaux en fonte, horizontaux, par lesquels s'écoule l'air brûlé, qui pénètre ensuite dans la cheminée M; ces tuyaux sont placés dans des caniveaux c,c, qui sont parcourus en sens contraire par l'air extérieur. D, tuyau horizontal ou vertical par lequel s'écoule l'air fortement échauffé. Si l'air qui doit être échauffé était comprimé, il faudrait évidemment le faire passer dans les tuyaux, et l'air brûlé dans les caniveaux.

1547. Un appareil analogue est indiqué par les figures 5 et 6 (pl. 84). L'air brûlé, en sortant du foyer A, parcourt successivement les carneaux B, rectangulaires et fermés supérieurement par des plaques de fonte, tandis que l'air qui doit être échauffé parcourt en sens contraire les canaux c,c, pour se rendre dans le canal D, qui le conduit dans le lieu où il est utilisé.

Il est évident que si on pouvait disposer d'une grande longueur, il conviendrait mieux de ne pas changer la direction des carneaux.

1548. Dans ces appareils il est important de donner une grande épaisseur à la maçonnerie qui se trouve au-dessus des carneaux pour diminuer le refroidissement de l'air chaud. Il serait même préférable de laisser des jours au milieu de la maçonnerie: la conductibilité de la masse serait encore plus petite.

Lorsque les foyers sont à la hauteur des surfaces de chauffe, il n'y a de tirage produit ni avant, ni pendant le chauffage, et celui qui est nécessaire pour la combustion provient uniquement de la cheminée; par conséquent on est obligé d'abandonner l'air brûlé à une température assez élevée. On diminuerait l'importance de cette température élevée, en abaissant le foyer de $1^{m},50$ à 2 mètres au-dessous des carneaux.

1549. On pourrait aussi donner aux carneaux une direction verticale:

cette disposition permettrait de refroidir complétement l'air brûlé, parce que le tirage qui résulterait de la somme des forces ascensionnelles de toutes les colonnes ascendantes, diminuée de celle de toutes les colonnes descendantes, pourrait suffire.

1550. Depuis plusieurs années on emploie dans les hauts fourneaux l'air chauffé à une haute température, et on a construit pour cet objet des calorifères de formes très-variées, mais qui pour la plupart ne réalisent qu'une bien faible partie de la chaleur dégagée par le combustible brûlé. Quelques-uns de ces appareils sont chauffés par la chaleur perdue des gueulards, mais nous n'en parlerons que plus tard.

1551. *Calorifère à haute température d'un haut fourneau au coke, de Vienne (Isère).* Les détails et les dessins de cet appareil sont extraits du *Portefeuille industriel*, publié par M. Pouillet.

Les figures 7 et 8 (pl. 84) représentent l'ensemble du haut fourneau et tous les détails du système de chauffage de l'air. La figure 7 est une coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 8); la figure 8, une coupe horizontale suivant yy' (fig. 7). La machine soufflante, qui n'est pas indiquée dans les figures, lance l'air, au moyen du tuyau A, dans le régulateur à eau R. L'air sort du régulateur par le tuyau B, continue sa marche jusqu'en C, et là se divise en deux parties; l'une suit le tuyau CD pour arriver à la tuyère T, l'autre passe derrière le fourneau, et vient par le tuyau CEF à la tuyère T'. Ces tuyaux sont placés dans un long four ou canal dont la sole, les parois et la voûte sont en briques réfractaires, où ils reçoivent l'action de la flamme des trois foyers X,Y,Z. La flamme du foyer X enveloppe le tuyau B à son entrée dans le canal, et ne le quitte que pour s'écouler dans la cheminée H; celle du foyer Y agit depuis le point D jusqu'à la même cheminée, en passant par le coude C; celle du foyer Z agit pareillement de F en H, en passant par le coude E. Sur une longueur d'environ 4 mètres, à partir des foyers, le four porte de chaque côté un revêtement et des armatures en fonte. Le four a $0^m,90$ de largeur sur $0^m,75$ de hauteur. La distance du foyer X à la cheminée est de 13 mètres, celle du foyer Y au point C est de 4 mètres, celle du foyer Z à la cheminée en passant par le coude F est de 9 mètres. En B le tuyau a $0^m,50$ de diamètre extérieur, $0^m,027$ d'épaisseur; il va en diminuant jusqu'en C; de C en D, et de C en F, les tuyaux n'ont que $0^m,30$ de diamètre extérieur, et $0^m,020$ d'épaisseur.

Leur longueur est de 35^m; ils sont réunis par deux sortes de jointures. Les joints ordinaires sont à brides ; entre deux brides contiguës et bien dressées sans être polies, on interpose une rondelle de fer doux, et, lorsque les brides sont fortement serrées par des boulons à vis et que la rondelle de fer s'est en quelque sorte moulée sur les brides, on rabat les bords au marteau pour mieux sceller les joints extérieurement. Les joints à compensation qui permettent aux tuyaux d'obéir aux effets de la dilatation sont formés par un emboîtement; l'un des cylindres est terminé par un renflement cylindrique, l'autre par un petit bourrelet; le bourrelet entre comme un piston dans le renflement cylindrique, et les surfaces sur lesquelles le mouvement doit avoir lieu sont tournées et alésées avec assez de soin pour qu'il n'y ait pas de perte sensible par ces joints. La machine fournit 41 mètres cubes d'air par minute, sous une pression de $0^m,054$ à $0^m,060$ de mercure. D'après les renseignements contenus dans l'article de M. Pouillet, le haut fourneau produit par jour 5 tonnes un quart de fonte, et la consommation des trois foyers est de 30 kilog. de houille menue pour 100 kilog. de fonte. D'après cela la production de fonte par heure est de $5250 : 24 = 218^k$, et par conséquent la consommation de houille par heure pour les trois foyers est de $2,18 \times 30 = 65$ kilog.

La température de l'air chaud n'est pas indiquée; mais il est facile de voir que cet appareil produit, du moins sous le rapport du chauffage, un effet utile assez considérable; car le poids de l'air lancé par heure étant de $41 \times 60 \times 1,3 \times 0,82 : 0,76 = 3450$ kilog., il s'ensuit qu'on emploie $65 : 3450 = 0^k,02$ pour chauffer 1 kilog. d'air. Or si toute cette chaleur était utilisée, l'air serait élevé à une température de $7500 \times 0,02 \times 4 = 600°$. En admettant que l'air soit lancé à 300°, l'effet utile serait un demi, ce qui est un assez bon résultat pour des appareils de cette nature.

1552. *Calorifère de M. Taylor.* Cet appareil, destiné à chauffer l'air d'alimentation des hauts fourneaux, est représenté en coupes dans les figures 9 et 10. L'appareil se compose de deux grands tubes droits AB et A'B' portant chacun huit tubulures C, C'; de quatre petits tubes droits *ab*, *a'b'* placés dans le prolongement des deux premiers; et de huit tubes courbés en arc DSD'. L'appareil est destiné à une soufflerie donnant $27^{m\,c}.41$ d'air par minute. La longueur des tuyaux $AB = 3^m60$; leur

diamètre extérieur = 0,^{m}36 ; leur épaisseur = 0,025. La surface des deux tuyaux = 7^{m},06. Les tuyaux courbés ont pour axe un cercle de 0^{m},78 de rayon, et une longueur de 2^{m},25. Leur diamètre extérieur est de 0^{m},17 ; leur surface totale est de 11^{m},60. Les joints sont faits au ciment de fonte. L'air arrive par un des tubes AB ou A'B', et traverse simultanément tous les tuyaux courbés. M. Taylor admet que dans cet appareil 1 mètre carré de surface de fonte, chauffée au rouge cerise, suffit pour porter à 300° 2 mètres cubes d'air par minute. L'appareil satisfait à ces proportions en comptant seulement pour un tiers la surface des grands tuyaux AB et A'B'. Cette disposition est peu avantageuse, car l'air brûlé est abandonné à une température très-élevée.

1553. *Calorifère de l'usine de Calder*, près de Glascow, d'après M. Dufresnoy. Cet appareil, figure 1, 2, 3 et 4 (pl. 85), se compose de deux gros cylindres horizontaux A et B, de 3^{m},30 de longueur et de 0^{m},25 de diamètre intérieur, et de neuf petits tuyaux C, de 0^{m},08 de diamètre, repliés sur eux-mêmes à la manière d'un siphon, et qui sont placés verticalement sur les tuyaux A, B, dans lesquels ils entrent à frottement au moyen de gorges K. Ce système de tuyaux est placé dans un fourneau rectangulaire de 3^{m},30 de long sur 1 mètre de largeur, et 4 ou 5 de hauteur. L'expérience ayant appris que les joints se détérioraient assez promptement, on a construit le fourneau de manière à les garantir de l'action du feu. Les assemblages *l,l*, des gros tuyaux sont placés en dehors du fourneau ; quant aux assemblages des petits tuyaux sur les gros, on les met à l'abri de l'oxydation par une maçonnerie en briques réfractaires *m,m*, qui règne tout le long des gros tuyaux. La flamme, en s'échappant du foyer, se rend dans le fourneau par la fente longitudinale *nn*, pratiquée dans toute la longueur du fourneau ; elle se répand ensuite entre les tuyaux, les enveloppe de tous côtés, et gagne la cheminée au moyen des ouvertures *o,o*. La température de l'air est portée dans cet appareil au-dessus de 322° centigrades. La chaleur ne doit pas être mieux utilisée dans ce calorifère que dans le précédent.

1554. *Calorifère de l'usine de Monkland-Iron-Works, près Airdrie*, d'après M. Dufresnoy. Cet appareil, représenté figures 5 et 6 (pl. 85), a beaucoup d'analogie avec le précédent. Il se compose également de deux gros tuyaux et d'un certain nombre de petits qui s'emboîtent dans

les gros; on a seulement changé leurs positions relatives. Les gros tuyaux A et B ont la forme d'un fer à cheval et sont placés verticalement dans le fourneau; les petits tuyaux *n,n*, qui les mettent en communication, sont horizontaux, ils ont 1^{m},60 de longueur. Cette différence de position, et surtout le moindre développement des petits tuyaux, ne permettent pas de donner à l'air, au moyen de cet appareil, une température aussi élevée que dans celui de Calder.

1555. *Calorifère de l'usine de Butterley-Iron-Works,* dans les environs de Derby. L'appareil figures 7 et 8 (pl. 85) se compose de trois gros tuyaux A,B,C, de 0,70 de diamètre intérieur, placés horizontalement les uns au-dessus des autres, et séparés chacun par des voûtes plates *a* et *b*. Ces tuyaux sont réunis deux à deux par des tuyaux courts *c* et *d*, courbés à angles droits. L'air, au sortir de la machine soufflante, entre dans l'appareil par le tuyau C, et sort en *e* après avoir parcouru successivement la longueur des trois tuyaux. Les joints sont à l'extérieur du fourneau proprement dit. Pour empêcher que l'air ne se refroidisse en traversant ces parties coudées, on entoure ces portions de tuyaux d'une chemise en briques. Les tuyaux coudés qui établissent la communication entre les tuyaux horizontaux portent des oreilles et sont réunis par des boulons à écrous. Les tuyaux ont 4 centimètres d'épaisseur, et reposent sur des taquets en briques *f,f,* placés de distance en distance sur les voûtes plates *a,b*. Cette disposition permet à la flamme d'envelopper les tuyaux de tous les côtés. Le premier tuyau A n'est pas exposé immédiatement à l'action du feu; il est séparé de la grille par une voûte cintrée *g,* qui règne dans toute la longueur de l'appareil, et qui laisse passer la flamme par des orifices *h,h*. Les voûtes plates *a,b* portent des ouvertures *i, k* pratiquées aux extrémités opposées du fourneau, de manière à forcer la flamme à traverser le fourneau dans toute sa longueur, avant de passer d'un étage à l'autre. La dépense de cet appareil est de 6,2 quintaux de houille par tonne de fonte. L'air est élevé à 182 degrés.

1556. *Calorifère de l'usine de Codnor-Park,* d'après M. Dufresnoy. Cet appareil est représenté figures 9 et 10 (pl. 85). Il est composé de deux tuyaux D et E superposés, et dans lesquels sont insérés les petits tuyaux *l,m,* ayant les mêmes axes que les tuyaux D, E. Ces différents tuyaux sont réunis par des coudes, de telle façon que l'air, au sortir de la machine

soufflante, arrive dans le tuyau intérieur *l*, se rend dans l'espace annulaire *no*, compris entre les tuyaux D et *l*, passe ensuite dans le tuyau intérieur *m*, et se rend dans le fourneau en traversant la seconde surface annulaire *pq*. Cette disposition de doubles tuyaux concentriques a été adoptée pour remédier à un inconvénient grave que l'on a éprouvé à Butterley, inconvénient que présentent en général les tuyaux d'un grand diamètre; l'air s'échauffant inégalement, produit un courant d'air froid dans l'axe des tuyaux, et il devient impossible de porter l'air à une température élevée. Les tuyaux D, E sont en fonte et ont 0,70 de diamètre intérieur. Les petits tuyaux *l, m* sont en tôle, de $0^m,014$ d'épaisseur; ils ont $0^m,48$ de diamètre intérieur. La disposition du fourneau est exactement la même que celle du fourneau de Butterley; les tuyaux D et E reposent par des taquets *r,r*, le premier sur une voûte plate *s*, et le second sur une voûte cintrée *t*, percée d'orifices *u*, qui livrent passage à la flamme du foyer. L'air est chauffé dans cet appareil à 204°. La consommation de houille est de 6 quintaux par tonne de fonte.

Cette disposition est ingénieuse; elle permet de porter l'air à une température beaucoup plus élevée que si on lui faisait parcourir librement de grands tuyaux, parce qu'il est obligé de passer dans des espaces annulaires étroits dont les deux surfaces sont à une haute température. Il est important de remarquer que les tuyaux intérieurs fortement échauffés par le rayonnement des tuyaux extérieurs, constituent des surfaces de chauffe très-efficaces.

Calorifères chauffés par la chaleur perdue des fourneaux.

1557. Les figures 11 et 12 (pl. 85) représentent un calorifère de M. Taylor, placé au gueulard d'un haut fourneau. L'inspection de ces figures et de celles de la planche précédente, relatives au même appareil, suffit pour en faire comprendre le jeu. Le fourneau se charge par la porte N. L'air qui entre par cette ouverture enflamme les gaz combustibles qui se trouvent en grande quantité dans l'air chaud qui sort du gueulard.

1558. Les figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 86) représentent un appareil placé à côté du gueulard d'un haut fourneau au charbon de bois de Was-

seralfingen (Wurtemberg). Les gaz y sont amenés par un canal latéral. L'appareil est formé de quatre murailles verticales, et fermé supérieurement par des plaques de fonte. Le tuyau parcouru par l'air qui doit être chauffé, circule horizontalement un grand nombre de fois dans le fourneau. La figure 1re représente sur une grande échelle une des parties du système des tuyaux ; la figure 2 une coupe verticale du fourneau, et l'élévation par un des bouts du système des tuyaux ; la figure 3 une coupe verticale du fourneau et une élévation d'une rangée verticale de tuyaux ; la figure 4, une coupe horizontale du fourneau et la disposition d'une rangée horizontale de tubes. Tous les joints sont à emboîtement et à ciment de fonte.

1559. La figure 5 est une coupe du calorifère employé dans un haut fourneau à la houille du Staffordshire. Cet appareil se compose de deux grands cylindres de fonte concentriques, de même hauteur et dont les rayons diffèrent de $0^m,40$. L'intervalle annulaire qui les sépare est exactement fermé aux deux bouts. Le cylindre intérieur porte neuf rangées de chacune trois tuyaux, qui le traversent et viennent s'ouvrir sur sa paroi, pour être en communication par les deux bouts avec l'espace annulaire. La flamme du gueulard passe entre les intervalles des tuyaux dont elle chauffe la surface ainsi que celle du cylindre intérieur. L'air poussé par la machine soufflante arrive dans l'espace annulaire, s'écoule avec plus ou moins de vitesse dans les tuyaux, et sort par un autre tuyau qui vient s'ouvrir dans le même espace annulaire. Cette disposition ne peut pas être avantageuse, parce que l'air ne parcourt certainement pas toutes les surfaces échauffées.

1560. Dans l'usine de Wenesbury (Staffordshire) on emploie un appareil qui diffère complétement de ceux que nous venons de décrire. Il est composé d'un solide annulaire pyramidal, représenté en coupe verticale (fig. 6, pl. 86), et en plan (fig. 7), et d'une série de petits tuyaux qui s'avancent dans le fourneau. La surface intérieure *vxyz* du solide annulaire, formée d'un prisme creux en fonte de $1^m,30$ de diamètre et de 4 mètres de hauteur, remplace la cheminée qui surmonte ordinairement le gueulard. La surface extérieure de ce même solide présente la forme d'une pyramide à huit faces ; elle est composée de plaques de tôle clouées ensemble à la manière des chaudières des machines à vapeur ; son diamètre, au milieu de la hauteur, est de 2 mètres, d'où il résulte

que le vide annulaire a moyennement 0,35 de largeur. Pour que la surface extérieure de cet appareil soit garantie du contact de l'air, elle est recouverte d'une enveloppe de briques K.

Le vent, au sortir de la machine soufflante, est porté au haut du fourneau, et se répand dans un tuyau annulaire *a'*, placé à la hauteur du gueulard : il se divise ensuite dans huit tuyaux verticaux *b'*,*b'* élevés devant les faces de la pyramide, et qui sont adaptés sur le tuyau annulaire; enfin, chacun de ces tuyaux communique avec six petits tuyaux *c'*, qui traversent horizontalement la surface annulaire et se prolongent jusque dans l'intérieur même du gueulard. Les tuyaux *c'* entrent dans des tuyaux *d'*,*d'*, fermés à leur extrémité, de telle façon que l'air, dans son mouvement, est forcé de se répandre dans la surface annulaire. Ces différents tuyaux sont en fonte. La réunion des tuyaux *c'* sur les tuyaux de distribution *b'* a lieu au moyen de manchons en cuir *e'*. L'air, après s'être échauffé dans les tuyaux *d'* et dans l'enveloppe annulaire, descend vers les tuyères. L'air n'est échauffé qu'à 182°. Cet appareil est compliqué et il exige des réparations fréquentes; on ne l'a pas imité dans d'autres usines.

1561. Dans les cubilots, ou fourneaux à la Wilkinson, on chauffe également l'air d'alimentation par la chaleur perdue. Les figures 8, 9 et 10 (pl. 86) représentent un cubilot, marchant à l'air chaud, d'après M. Taylor. (*Portefeuille industriel.*) Le cubilot est construit comme à l'ordinaire; le massif AA qui le constitue est en briques, à l'intérieur il est garni de terre réfractaire pour former la cuve A', et à l'extérieur il est revêtu de feuilles de tôle A'' rivées entre elles, pressées et consolidées par des cercles de fer *m*. Le vent arrive successivement par les diverses tuyères *a'*; on se sert de la tuyère inférieure pour commencer, et à mesure que le niveau de la fonte s'élève dans le creuset, on change de tuyère afin de souffler toujours à une hauteur convenable au-dessus du bain de métal. Les tuyères dont on ne se sert pas sont lutées avec soin, surtout quand elles ont à supporter la pression du liquide contenu dans le creuset. L'ouverture de coulée se trouve en *a*; elle est toujours hermétiquement fermée par un bouchon que l'on enlève au moment de la coulée.

La seule modification que M. Taylor fasse éprouver au cubilot ordinaire est de ménager à la partie supérieure une porte B, par laquelle

on jette les charges de charbon et de fonte; mais cette ouverture est habituellement fermée par la porte en tôle *b*, qui se lève et s'accroche par la petite chaîne *b'*, pendant le temps très-court qui est nécessaire pour jeter la charge. Voici maintenant ce qui s'ajoute au cubilot pour chauffer l'air par la chaleur perdue. D'abord on établit sur son bord trois plaques épaisses de fonte superposées *c*, *c'*, *c''* de même diamètre que le cubilot, et percées au centre d'un trou rond un peu plus grand que le diamètre de la cuve A' ; la première *c''* porte une partie saillante *c'''*, servant de point d'appui au ventilateur; la seconde *c'* a un trou central un peu plus grand que celui de la première, afin qu'elle se trouve un peu en retraite, et par conséquent protégée contre l'action de la chaleur; la troisième *c* a un trou central encore un peu plus grand par la même raison, mais un diamètre extérieur beaucoup plus petit, de telle sorte qu'elle laisse à découvert, sur la deuxième plaque *c'*, un espace annulaire de 12 à 15 centimètres. Sur cette troisième plaque *c* on fixe les deux cylindres concentriques en tôle D et D' ouverts par le bas, fermés en haut, et dont les bases supérieures sont réunies par une espèce de douille tout ouverte *d*, *d*. Le cylindre extérieur D' porte deux ouvertures *e* et *e'*, l'une en haut par laquelle s'introduit l'air froid, l'autre en bas par laquelle sort l'air après s'être échauffé entre les deux enveloppes D et D'. A la distance de $0^m,12$ ou $0^m,15$ de l'enveloppe extérieure D', on bâtit en briques, autour d'elle, une troisième enveloppe E qui est revêtue de cercles en fer comme le cubilot lui-même ; à sa base, cette dernière enveloppe repose sur l'espace annulaire que la plaque *c* laisse à découvert sur la plaque *c'*, et, à sa partie supérieure, elle est fermée par une plaque convexe en tôle *ff'*, sur laquelle on fait une voûte en substance non conductrice; mais la plaque de tôle est percée au milieu d'un trou qui se ferme au moyen du couvercle *f''*, au-dessus duquel on met un bouchon en pierre G. Cette disposition sert à visiter et à nettoyer au besoin l'intérieur de l'appareil. Outre cette ouverture supérieure qui reste toujours fermée pendant les opérations, l'enveloppe E porte latéralement, à sa partie inférieure, deux autres ouvertures opposées H,H, dans lesquelles sont fixés les tuyaux de tôle I,I, qui servent de bases et de supports aux deux cheminées K, K. Les tuyaux I,I sont fermés à leurs extrémités par des bouchons *i*, *i*, qu'on enlève pour nettoyer les cheminées.

Les produits de la combustion se répandent d'abord dans la première enveloppe D, puis ils sortent par le canal *dd'*, et descendent entre le cylindre D' et l'enveloppe E pour gagner les cheminées K, K. L'air froid arrive par l'orifice *e*, circule dans l'enveloppe formée par les cylindres D et D', et passe ensuite dans la tuyère. Le tuyau MM, parfaitement cylindrique à sa partie supérieure, entre à frottement doux dans la partie inférieure du cylindre L L', de telle sorte qu'en le faisant pénétrer plus ou moins, la tuyère puisse être placée dans les différents orifices *a'*,*a'*,*a'*.

1562. Tous les calorifères que nous venons de décrire, excepté le premier, celui de l'usine de Vienne, ne satisfont point aux conditions que nous avons énoncées d'abord pour utiliser convenablement le combustible; aussi la plupart doivent produire très-peu d'effet utile, et par la trop petite étendue des surfaces de chauffe et par la mauvaise disposition de la double circulation de l'air à chauffer et de l'air brûlé. Mais pour ceux qui sont chauffés par la chaleur perdue des gueulards et des cubilots, comme il se dégage beaucoup plus de chaleur qu'on ne peut en utiliser, la seule condition importante à remplir, est de chauffer l'air à une température suffisante, avec les appareils les plus simples, les plus économiques et les moins sujets à de fréquentes réparations.

1563. *Calorifères chauffés par la chaleur perdue des cheminées de fourneaux ou de chaudières à vapeur.* Dans les cheminées de la plupart des fourneaux, l'air brûlé se trouve souvent à une température très-élevée, surtout quand les fourneaux sont employés, comme dans la métallurgie, à chauffer des corps solides ou à fondre des métaux. Les cheminées des chaudières à vapeur renferment souvent de l'air brûlé à une température très-élevée. Quand la fumée est à une température qui dépasse 400° il y a de l'avantage, pour le tirage, à la refroidir; à plus forte raison quand ce refroidissement produit un effet utile. Pour les cheminées des chaudières à vapeur, la température de l'air brûlé dépassant peu celle qui correspond au maximum de tirage, un refroidissement considérable diminuerait leur effet; mais comme la variation de tirage est très-lente, non-seulement dans le voisinage de la température qui correspond au maximum, mais à des distances très-grandes, et que d'ailleurs on doit toujours avoir dans les cheminées un excès de puissance résultant d'une grande section, si les cheminées ont été bien

construites, on pourra toujours abaisser au moins de moitié la température de l'air brûlé, sans diminuer le tirage, même en augmentant un peu les frottements par le passage de l'air à travers un calorifère, pourvu toutefois que l'on ouvre davantage le registre.

1564. On voit dans les figures 1 et 2 (pl. 87) une disposition très-simple d'un calorifère placé au bas d'une cheminée. L'air brûlé passe autour d'un grand nombre de tuyaux de fonte qui traversent la cheminée à sa base. L'air extérieur pénètre simultanément dans tous les tuyaux, et se rend dans une chambre à air chaud qui se trouve sur la face opposée, d'où il est dirigé dans le lieu où il doit être utilisé. Dans la figure 3, on a indiqué la disposition qu'il faudrait employer pour chauffer un plus petit volume d'air à une plus haute température. Dans les deux dernières figures, les flèches indiquent le mouvement de l'air qui s'échauffe.

1565. Les figures 4 et 5 représentent un calorifère qu'on peut facilement établir à côté des cheminées construites. Un registre tournant permet de faire passer à volonté l'air brûlé à travers le calorifère ou directement dans la cheminée. Par une disposition analogue à celle de la figure 3, on chaufferait l'air à une haute température.

1566. Le calorifère chauffé par la chaleur de la fumée de chaudières à vapeur, construit à Gisors, par M. René Duvoir, et dont il a déjà été question (1310), est composé d'un canal horizontal en briques, divisé par deux systèmes de plaques de fonte en trois étages; l'étage inférieur communique avec l'air extérieur; le troisième reçoit l'air échauffé pour le conduire dans les séchoirs; et celui du milieu est divisé, dans le sens de sa longueur, en deux parties par des caisses en fonte qui s'ouvrent dans le premier et dans le troisième étage. La première partie reçoit l'air brûlé, la seconde le conduit à la cheminée, et chacune d'elles renferme sur la face opposée aux caisses de fonte une rangée de tuyaux verticaux de même métal, qui communiquent avec l'étage supérieur et l'étage inférieur; ces tuyaux sont disposés comme ceux qu'on voit dans la planche 77. La surface de chauffe est de 72 mètres carrés pour 130 kilog. de houille brûlés par heure dans les foyers des chaudières à vapeur. Nous avons déjà dit que la fumée était reçue à 400°, et versée dans la cheminée à 200°.

§ 6. — CHAUFFAGE DE L'AIR PAR LA VAPEUR.

1567. Les appareils de chauffage à vapeur consistent toujours : 1° en un générateur de vapeur avec tous ses accessoires; 2° en tuyaux qui conduisent la vapeur dans les capacités où elle doit être condensée; 3° en appareils de condensation; 4° en tuyaux destinés à ramener à la chaudière l'eau qui provient de la condensation de la vapeur, ou à l'évacuer au dehors. Nous avons donné dans le premier volume tous les détails nécessaires sur la disposition des chaudières à vapeur, et par conséquent nous n'avons rien à dire sur cet objet; mais nous examinerons avec soin toutes les autres parties dont se compose un chauffage à vapeur.

1568. Ordinairement, les grands chauffages à vapeur ont lieu par des tuyaux parcourus par la vapeur et placés dans les salles qui doivent être échauffées; plus rarement la vapeur se condense dans des vases de différentes formes également placés dans l'intérieur des pièces; enfin, dans quelques circonstances, la vapeur est employée à chauffer l'air de ventilation. Nous nous occuperons successivement de ces trois espèces d'appareils.

1569. *Tuyaux de conduite de la vapeur.* Les tuyaux qui sont destinés à conduire la vapeur de la chaudière aux appareils de condensation, doivent être disposés de manière à n'occasionner eux-mêmes qu'une faible condensation; on ne peut cependant employer que des métaux dans leurs constructions, mais on les recouvre de matières qui transmettent difficilement la chaleur, et qui doivent être en couches épaisses, car dans certains cas, des couches minces en augmentant le pouvoir rayonnant de la surface extérieure des tuyaux, produiraient un effet contraire à celui qu'on veut obtenir. Cette enveloppe des tuyaux conducteurs est surtout importante quand une partie du trajet se trouve à l'air libre ou au-dessous du sol.

1570. Il est important que les tuyaux de conduite, sur aucune partie de leur trajet, n'aient la forme d'un siphon renversé, parce que l'eau résultant de la vapeur condensée s'y accumulerait, et produirait une pression qui pourrait avoir de graves inconvénients. Dans le cas où l'on serait obligé de donner au tuyau la forme dont il est question, il fau-

drait mettre en communication avec la partie la plus basse du tube, un vase garni d'un robinet qui permît d'évacuer de temps en temps l'eau qui s'y accumulerait.

1571. Le diamètre des tuyaux de conduite peut être déterminé comme nous l'avons indiqué (892).

1572. En Angleterre, les tuyaux de conduite de vapeur sont en fer forgé, ils ont ordinairement de 3 à 5 centimètres de diamètre intérieur. Ces tuyaux ont l'avantage de se courber facilement; on les réunit par des écrous roulants, ou par des brides à écrous. Depuis plusieurs années MM. Gandillot ont introduit en France la fabrication des tuyaux de fer étirés, et ils en livrent au commerce de tous les diamètres. En France, on emploie souvent des tuyaux en cuivre, brasés et réunis par des brides à écrous. On se sert aussi quelquefois des tuyaux de plomb; mais quand la pression de la vapeur est un peu forte, ces tuyaux augmentent insensiblement de diamètre et finissent par crever; les tuyaux de plomb étirés sont d'ailleurs bien préférables à ceux qui sont soudés.

1573. *Tuyaux de condensation.* Les tuyaux de condensation sont toujours métalliques; mais on ne les construit qu'en tôle, en fonte ou en cuivre. On n'emploie jamais le plomb, parce qu'il est trop mou, et que la continuité de la pression le déchire; l'étain, parce que, indépendamment de cet inconvénient, il est trop cher; le fer-blanc, parce qu'il s'altère trop facilement; et le zinc, parce que les soudures ne pouvant être faites qu'à l'étain, l'inégale dilatation des deux métaux fait casser les tuyaux. Maintenant on emploie presque exclusivement la fonte, parce que les appareils reviennent à un prix moins élevé, et qu'ils n'exigent pas de soupapes de rentrée d'air (reniflards) qui s'opposent à leur écrasement quand on suspend l'émission de la vapeur et qu'il se forme un vide partiel intérieur. Cependant les appareils en cuivre sont plus faciles à placer, ils conservent une plus grande partie de leur valeur primitive lorsqu'ils sont hors de service, et leur prix n'excède pas de beaucoup celui des appareils en fonte, à cause de la faible épaisseur des tuyaux de cuivre.

On prétend que les tuyaux à vapeur en cuivre donnent une odeur métallique qui n'est ni agréable, ni salubre. Si ce fait était vrai, aucune considération ne pourrait faire préférer ce métal à la fonte pour le chauffage des habitations; mais tout fait présumer qu'il n'est pas exact et qu'il doit être rangé au nombre des préjugés, car il existe beaucoup

d'ateliers chauffés à la vapeur par des tuyaux de cuivre, et je n'ai jamais entendu dire que l'on se fût plaint d'une mauvaise odeur due au métal. Clément regardait aussi le chauffage par les tuyaux de cuivre comme étant sans aucun inconvénient, car sa maison d'habitation et son cabinet étaient chauffés par des tuyaux de ce métal.

1574. La quantité de chaleur transmise à travers l'enveloppe d'une capacité remplie de vapeur, est sensiblement indépendante de la nature et de l'épaisseur du métal; car, dans le chauffage à vapeur, la surface intérieure des vases est mouillée d'une lame mince d'eau stagnante, et comme la quantité de chaleur émise par l'autre surface par le rayonnement et par le contact de l'air, est très-petite relativement à celle qui pourrait être transmise par la plaque métallique, il s'ensuit nécessairement que la surface extérieure est sensiblement à la température de la surface intérieure, quelle que soit l'épaisseur du métal. Si le liquide qui mouille la surface intérieure des tuyaux, et l'air extérieur se renouvelaient avec une très-grande vitesse, il n'est pas douteux que l'influence de la nature et de l'épaisseur du métal se manifesterait; mais il faudrait certainement que ces deux fluides se renouvelassent avec une prodigieuse vitesse pour que les quantités de chaleur transmises fussent en raison inverse des épaisseurs des tuyaux, pour la même différence de température, à l'intérieur et à l'extérieur, et pour que, dans les mêmes circonstances, ces quantités de chaleur fussent proportionnelles aux facultés conductrices des matières qui forment les tuyaux.

1575. Mais l'état de la surface extérieure a une influence très-grande sur la quantité totale de chaleur transmise; car la chaleur rayonnée varie proportionnellement au pouvoir émissif. Par exemple, le fer-blanc acquiert une faculté condensante double, lorsqu'on recouvre sa surface de noir de fumée, ou d'une feuille de papier huilée, ou seulement d'une couche de colle de poisson.

1576. D'après des expériences faites par Tredgold sur le refroidissement de vases pleins d'eau exposés à l'air, et rapportées dans son ouvrage sur le chauffage, les quantités de vapeur condensées par heure et par mètre carré dans des tuyaux de différentes substances exposés à l'air libre à 15°, sont :

	k.
Pour le fer-blanc	1,07
Pour le verre	1,76
Pour la tôle neuve	1,80
Pour la tôle rouillée	2,10

1577. D'après des expériences faites par Clément à une température de 25°,

	k.
1^{m} carré de fonte nue en tuyau horizontal, condense par heure	1,600
1^{m} carré de fonte noircie	1,500
1^{m} carré de cuivre nu en tuyau horizontal	1,300
1^{m} carré de cuivre noirci en tuyau horizontal	1,500
1^{m} carré de cuivre noirci en tuyau vertical	1,750

En ramenant ces nombres à une température extérieure de 15°, on trouve :

	k.
Pour la fonte nue en tuyau horizontal	1,81
Pour la fonte noircie en tuyau horizontal	1,70
Pour le cuivre nu en tuyau horizontal	1,47
Pour le cuivre noirci en tuyau horizontal	1,70
Pour le cuivre noirci en tuyau vertical	1,98

1578. On voit par ces dernières expériences que la fonte noircie à sa surface a moins condensé de vapeur que la fonte nue, et que le contraire a lieu pour le cuivre. Cette anomalie provient de ce que la fonte nue est plus irrégulière et a une plus grande surface réelle que la fonte recouverte d'un enduit quelconque, tandis que le cuivre poli étant doué d'une grande faculté réfléchissante, il la perd par un enduit et acquiert un plus grand pouvoir émissif. Il résulte aussi de ces expériences, que les tuyaux disposés verticalement condensent plus de vapeur que quand ils sont placés horizontalement. Cette différence provient de ce que, dans le premier cas, les courants d'air se meuvent facilement sur toute la surface des tuyaux, tandis que dans le second il n'en est ainsi que pour la moitié inférieure de la surface. Mais le plus grand effet produit par les tuyaux verticaux n'existerait plus si ces tuyaux avaient une très-grande hauteur, parce que l'air qui serait en contact avec leurs parties supérieures, ayant été échauffé par son passage contre les parties inférieures, n'absorberait plus autant de chaleur; et on conçoit même qu'au delà d'une certaine

hauteur, celle à laquelle l'air aurait pris la température du tuyau, il n'y aurait plus de refroidissement par le contact de l'air.

1579. Voici enfin les résultats de deux expériences faites dans deux fabriques, chauffées à la vapeur, l'une par des tuyaux de fonte, et l'autre par des tuyaux de cuivre. Dans la première, un chauffage de 11 heures par 253 mètres carrés de surface de fonte, a produit 4950 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à $1^k,77$ par heure et par mètre carré ; dans l'autre, par un chauffage de $9^h12'$, une surface de $136^m,2$ de tuyaux de cuivre a fourni 2214 litres d'eau de condensation, ce qui correspond à $1^k,75$ de vapeur condensée par mètre carré et par heure. Ces nombres se rapprochent beaucoup de ceux que nous avons rapportés précédemment, et comme ils résultent d'expériences faites sur une très-grande échelle, ils méritent plus de confiance.

1580. Dans les grands chauffages à vapeur, il faut compter sur une condensation de $1^k,80$ de vapeur par heure et par mètre carré de fonte, et seulement sur $1^k,75$ par mètre carré de cuivre.

1581. Le diamètre des tuyaux de condensation n'est pas entièrement arbitraire ; car, il faut que l'air soit expulsé des tuyaux le plus promptement et le plus complétement possible, attendu que l'air, même en petite quantité, mêlé avec la vapeur, en ralentit beaucoup la condensation. Or, l'évacuation de l'air est très-difficile et très-lente quand les tuyaux ont un grand diamètre ; quand, au contraire, les tuyaux ont un diamètre très-petit, leur longueur pour la même surface est très-grande, et les frottements ralentissent la marche de la vapeur, consomment une partie de sa pression dans la chaudière, et produisent une détente qui abaisse sa température. Ainsi il faut éviter d'employer des tuyaux d'un trop grand ou d'un trop petit diamètre. Les diamètres des tuyaux varient ordinairement de 7 à 20 centimètres. Les grands tuyaux ont 2 mètres de longueur ; $0^m,20$ de diamètre intérieur ; $0^m,02$ d'épaisseur ; les brides $0^m,055$ de largeur, et on y place ordinairement 6 boulons de $0^m,02$ de diamètre. Les tuyaux d'un plus petit diamètre ont la même longueur, $0^m,1$ d'épaisseur, et les collets sont réunis par un plus petit nombre de boulons d'un plus petit diamètre.

1582. Si on veut que les tuyaux, après la cessation du feu, se refroidissent lentement et donnent pendant plusieurs heures une certaine quantité de chaleur, il faut mettre dans les tuyaux, du sable,

ou des fragments de briques, qui s'échauffent pendant l'émission de la vapeur et se refroidissent ensuite lentement. Dans certains cas il serait préférable de laisser séjourner dans l'intérieur des tuyaux une certaine quantité d'eau, en plaçant les tuyaux horizontalement et les tubes de retour d'eau à une certaine hauteur.

1583. D'après les nombres que nous avons rapportés précédemment, sur les quantités de chaleur émises par les tuyaux chauffés par la vapeur et exposés librement à l'air, on pourra calculer la surface qu'on doit leur donner pour chauffer une pièce avec ou sans ventilation, quand on connaîtra la quantité maximum d'unités de chaleur que les murailles et les vitres perdent dans une heure. Mais cette question ne sera examinée que dans le chapitre XVIII.

1584. *Différents modes de réunion des tuyaux de condensation.* Les tuyaux de fonte sont ordinairement terminés par des rebords qu'on désigne sous le nom de *brides* ou *collets,* percés d'un certain nombre de trous également distants, destinés à recevoir des boulons (fig. 6 et 7, pl. 87). Pour des tuyaux de $0^m,20$, les boulons sont au nombre de 4 ou 5. Quelquefois on emploie des tuyaux de fonte terminés à une extrémité par un godet, dans lequel pénètre l'extrémité du tuyau avec lequel il doit être réuni (fig. 8 et 9).

1585. Lorsque les tuyaux sont à brides et qu'ils ne doivent jamais être démontés, les brides sont en retraite de 1 à 2 centimètres; pour les réunir, on serre d'abord les écrous, et on introduit dans l'intervalle des brides du mastic de fonte qu'on tasse fortement. Le mastic de fonte dont nous avons déjà donné une recette (725), est aussi quelquefois composé de la manière suivante : 100 parties de tournure de fonte; 2 parties de sel ammoniac, une partie de fleur de soufre et une demi-partie de sulfure d'antimoine; on mêle ces matières pulvérisées avec de l'urine, en quantité suffisante pour qu'elles en soient recouvertes. Pour faire le joint, on introduit par partie le mastic entre les collets, en le mattant fortement jusqu'à ce que l'intervalle soit rempli; et on attend quelques jours pour que le mastic prenne toute la consistance dont il est susceptible. Ce mode de jonction est le meilleur qu'on connaisse, car il ne s'altère pas avec le temps. Quand les collets sont à fleur des tuyaux, on place entre eux un anneau étroit de fer forgé.

1586. Quand les tuyaux sont à godet, le joint se fait également avec

du mastic de fonte que l'on tasse dans l'espace annulaire qui sépare les deux parties qui se pénètrent; et pour que le joint soit solide et que le mastic ne se sépare pas des surfaces de fonte, par les mouvements qui proviennent des variations de température, on donne à la partie du tuyau qui doit recevoir l'extrémité de l'autre, un diamètre un peu plus grand au fond qu'à l'extrémité; et souvent on place en outre une cheville de fer qui traverse les parties emboîtées des tuyaux. Ce mode d'ajustage a l'inconvénient de faire quelquefois éclater le tuyau enveloppant par la grande dilatation qu'éprouve le mastic en se solidifiant; on évite cet inconvénient en laissant peu d'intervalle entre les parties réunies, et en donnant par conséquent peu d'épaisseur à la couche de mastic. Pour les conduites d'eau, les joints des tuyaux à emboîtement se font avec du plomb; mais cette méthode ne convient pas pour les tuyaux à vapeur, les joints perdraient promptement.

1587. Ordinairement on réunit les tuyaux par d'autres méthodes plus simples et plus expéditives, qui toutes se réduisent à placer entre les collets, des plaques annulaires que l'on serre fortement par des écrous.

1588. Lorsque les joints doivent être défaits de temps en temps, on emploie des étoupes tressées qui ont été plongées dans du suif fondu, figures 20 et 21. Pour les joints qui ne doivent pas être défaits, on se sert fréquemment de plaques de plomb de 3 à 5 millimètres d'épaisseur, rayées sur les deux faces (fig. 22 et 23) et recouvertes de mastic rouge (mélange de céruse, d'huile de lin et de minium); ce mastic durcit promptement et adhère très-bien aux métaux. Quelquefois les faces des collets sont tournées et rayées circulairement comme l'indiquent les figures 24 et 25. On se borne souvent à employer des anneaux de toile très-forte ou de carton recouverts d'une couche épaisse de mastic rouge. Les joints au mastic rouge ont l'inconvénient de donner pendant assez longtemps une odeur désagréable. On fait aussi des joints sans enduit, en tournant les faces des collets, et plaçant entre eux un anneau formé d'un fil de cuivre rouge de 1 à 2 millimètres de diamètre : ce joint, quand il est bien fait, est préférable à tous les autres.

1589. Lorsque les collets ont été tournés, on peut les réunir en mettant seulement entre eux une feuille de papier épaisse mouillée avec une dissolution de sel marin. Le métal s'oxyde promptement, et le joint devient étanche et très-solide.

1590. Les petits tuyaux qui servent à conduire la vapeur dans les tuyaux de condensation sont presque toujours réunis par des collets à boulons, figures 16, 17, 18 et 19. Quand ils sont en cuivre, ils sont garnis de collets en fer, soudés à la soudure forte; quelquefois ils ont des collets en cuivre mince, qui sont serrés l'un contre l'autre par des anneaux libres en fer, figures 14 et 15. Quand ces tuyaux sont d'un petit diamètre, on les ajuste par des vis ou des écrous roulants, figures 26, 27, 28, 29 et 30.

Les tuyaux de cuivre sont toujours soudés à la soudure forte. Dans aucun cas il ne faut employer la soudure d'étain, parce que l'inégale dilatation des métaux les sépare promptement et fait perdre les joints.

1591. *Supports des tuyaux.* Le plus souvent les tuyaux sont suspendus au plafond des pièces, par de simples fils de fer fixés à des pitons. Mais le mode de suspension indiqué dans les figures 10 et 11 (pl. 87) est bien préférable; car, au moyen de l'écrou *m*, on peut facilement raccourcir ou allonger la suspension.

1592. Lorsque les pièces sont garnies de poteaux très-rapprochés, on supporte souvent les tuyaux par la disposition indiquée dans les figures 12 et 13.

1593. *Robinets.* Les petits robinets de distribution sont presque toujours en bronze, et ils sont soudés à l'étain quand les tuyaux sont en plomb. Lorsque les tuyaux sont en cuivre ou en fer, ils sont ajustés avec des écrous roulants, fig. 31 et 32. Les figures 33 et 34 représentent un petit robinet très-commode à ajuster dans de petits tuyaux de plomb; les deux bouts de tuyaux qui le terminent sont garnis de rainures transversales, on les couvre de mastic rouge, on les introduit dans les tuyaux de plomb, dont le diamètre ne doit pas excéder de beaucoup le leur, et on serre fortement les tuyaux de plomb avec des fils de fer : les joints deviennent étanches et très-solides en peu de temps. La figure 35 représente un robinet souffleur appliqué directement sur un gros tuyau : c'est une vis creuse percée latéralement; on fait sortir l'air ou la vapeur en desserrant la vis. En Angleterre, presque tous les tuyaux de distribution et ceux des souffleurs sont en fonte ou en fer. Les figures 36 et 37 représentent, à moitié grandeur, un de ces petits robinets en fer, qui se vendent à très-bas prix, et qui sont employés pour les distributions de gaz et pour les souffleurs des appareils de chauffage à vapeur.

1594. Les robinets des grandes distributions sont toujours en cuivre;

quelquefois ils sont soudés sur des tuyaux en plomb ; mais le plus souvent ils sont assemblés à brides et à écrous sur des tuyaux de fer ou de cuivre. Les figures 38, 39, 40 et 41 (pl. 87) représentent, à un quart de grandeur, deux coupes, une élévation et une projection horizontale d'un robinet appliqué à un tuyau de 4 centimètres de diamètre. Les figures 1, 2, 3, 4, 5 et 6 (pl. 88) représentent, à la même échelle, un robinet à trois eaux.

La figure 42 (pl. 87) est une coupe d'un robinet à soupape, se manœuvrant au moyen d'une manivelle qui fait mouvoir dans une boîte à étoupe la tige taraudée de la soupape; à côté se trouve une soupape à air.

1595. *Compensateurs.* Quelle que soit la nature des tuyaux de conduite et de condensation, les variations de température qu'ils éprouvent produisant des variations dans leur longueur, ils doivent être disposés de manière que ces mouvements puissent se faire facilement. Par conséquent ils ne doivent point être fixés par les deux bouts à des parties immobiles des bâtiments, car la force avec laquelle les métaux tendent à se dilater et à se contracter étant très-grande, les tuyaux renverseraient les obstacles qui s'opposeraient à leurs mouvements, ou se briseraient eux-mêmes s'ils n'étaient pas élastiques. L'allongement que prennent les tuyaux lorsqu'ils sont chauffés à 100°, est assez considérable, car le coefficient de dilatation de la fonte étant de 0,0011, 10 mètres s'allongent de $0^m,011$, 100 mètres de $0^m,11$. Si tout le circuit était en fonte, et horizontal, on obvierait complétement aux effets de la dilatation, en suspendant librement tous les tuyaux et en n'en fixant aucune partie. Mais il y a toujours des parties verticales qui, en s'allongeant, soulèveraient les parties horizontales contiguës qui, ne portant plus sur leurs supports, pourraient se briser. Ainsi, dans presque tous les cas, il est indispensable de disposer certaines parties du circuit de manière qu'il puisse facilement, sans produire d'accidents, obéir aux efforts de la dilatation. On emploie pour cela deux dispositions différentes : des tuyaux de cuivre d'un petit diamètre et fortement courbés, dont la courbure peut changer facilement, souvent et longtemps, sans que le métal se déchire, et des tuyaux d'un grand diamètre qui se pénètrent et qui peuvent entrer plus ou moins les uns dans les autres.

1596. Les compensateurs de cuivre ont toujours un petit diamètre, et ils sont pliés de manière que leur longueur soit quatre à cinq fois plus

grande que la plus courte distance de leurs extrémités. Si, par exemple, un tuyau de conduite vertical devait distribuer simultanément de la vapeur dans des tuyaux de condensation placés à différents étages, on fixerait le tuyau vertical à sa partie inférieure, l'autre extrémité serait libre, les tuyaux de condensation seraient fixes à l'extrémité la plus voisine du premier, et la vapeur serait admise dans chacun d'eux au moyen d'un tube de cuivre d'un petit diamètre, qui partant du tuyau conducteur s'élèverait à une certaine hauteur, et descendrait ensuite pour communiquer avec le tuyau condensateur. Si les deux extrémités d'une série horizontale et rectiligne de tuyaux étaient fixées aux murailles d'un bâtiment, il faudrait interrompre la conduite dans une certaine étendue, fermer les bouts des tuyaux en regard A et B, figure 7 (pl. 88), et faire communiquer leurs parties supérieures par un tube recourbé *abc*, et leurs parties inférieures par un tube de même forme *a'b'c'*; le premier serait destiné à faire passer la vapeur, le second l'eau de condensation de la première partie du tuyau dans la seconde. Si on ne plaçait qu'un seul tuyau *abc*, il faudrait faire écouler par un tube particulier, l'eau de condensation de l'une des parties, figure 8.

1597. On ne pourrait pas remplacer les tuyaux de cuivre par des tuyaux de plomb, parce que les petits mouvements que ceux-ci éprouveraient les auraient bientôt déchirés. L'expérience en a été faite à Paris, dans un grand chauffage à vapeur établi par M. Grouvelle. Les compensateurs en plomb qu'il avait employés ont été déchirés en peu de temps. A la vérité les tuyaux étaient courts et d'un gros diamètre; mais il n'est pas douteux que le même effet serait arrivé, peut-être seulement après un temps plus long, si les tuyaux avaient eu une plus grande longueur et un plus petit diamètre.

1598. Quand on ne peut pas employer les dispositions dont nous venons de parler, par exemple, quand les tuyaux sont logés dans des caniveaux étroits, il faut se servir de la disposition indiquée par les figures 10 et 11 (pl. 88). Un des tuyaux est alésé sur une partie de sa longueur, qui pénètre dans un renflement de l'autre à travers une boîte à étoupe : par les variations de température, le tuyau intérieur glisse dans la boîte. Ce compensateur a été employé dans le chauffage de la Bourse, et appliqué à des tuyaux de fonte d'un grand diamètre; il fonctionne bien quand on a soin de graisser les étoupes de temps en temps;

mais des compensateurs qu'on avait entièrement négligés ont cessé de fonctionner, et la dilatation des tuyaux a brisé de grandes bâches de fonte placées à leurs extrémités, et auxquelles ils étaient fixés. Pour éviter cet inconvénient, M. Talabot a remplacé chacun des grands compensateurs en fonte, par deux plus petits en cuivre, figure 12 (pl. 88), placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des tuyaux. Le premier est destiné à établir la communication de la vapeur entre les deux tuyaux; le second, celle de l'eau de condensation. Les figures 13 et 14 (pl. 88) représentent sur une plus grande échelle deux coupes de ces compensateurs.

1599. De quelque manière que les compensateurs soient disposés, ils sont toujours compliqués, d'un prix assez élevé, et il est par conséquent important de chercher à en diminuer le nombre autant que possible, ou même à les éviter.

Dans beaucoup de chauffages à vapeur, quand les effets produits ne résultent que d'une petite longueur de tuyaux, on n'emploie point de compensateur; on compte sur l'élasticité et la ténacité du métal pour éviter les fractures. Par exemple, lorsqu'un tuyau de fonte vertical distribue de la vapeur à des tuyaux horizontaux, souvent ces derniers sont directement embranchés sur le tuyau vertical, et les tuyaux horizontaux sont librement suspendus et entièrement libres à leur extrémité. Il résulte de là, que les parties des tuyaux horizontaux voisines de l'embranchement, sont soulevées quand le métal est échauffé, que les tuyaux se courbent et qu'ils ne portent qu'à une certaine distance sur leurs supports. Cette disposition est sans inconvénient, quand il n'y a qu'un ou deux étages à chauffer, c'est-à-dire quand le tuyau vertical n'a que 6 à 7 mètres de longueur : au delà, il serait dangereux de l'employer. On peut également éviter les compensateurs quand les tuyaux librement suspendus dans une pièce y circulent de différentes manières. Dans les divers cas qui se présenteront, le calcul de l'effet produit par la dilatation, fera facilement connaître s'il est indispensable d'employer des compensateurs.

1600. *Souffleurs.* On désigne ainsi des petits tubes garnis de robinets, placés aux extrémités des grandes lignes de tuyaux de chauffage, et qui sont destinés à expulser l'air qui remplit les tuyaux lors de l'arrivée de la vapeur. Les souffleurs sont toujours placés à la partie supérieure des tuyaux.

figure 15 (pl. 88), et conduisent l'air au dehors. Ils sont ordinairement en fer et d'un diamètre intérieur de 4 à 5 millimètres. Leur extrémité est taraudée, garnie d'un talon, et au-dessus d'une partie carrée; on les place dans des orifices percés et taraudés dans les plaques de fonte qui ferment les extrémités des tuyaux; les robinets dont ils sont garnis se montent à vis directement. Dans les petits appareils, les souffleurs se composent simplement d'une vis renfermant un canal intérieur, qui débouche latéralement près de la tête de la vis, et qui est fixée sur une des faces du vase de condensation, figure 35 (pl. 87). On ouvre les robinets des souffleurs au commencement du chauffage, et on les ferme quand ils commencent à laisser dégager de la vapeur. On est cependant obligé de les ouvrir de temps en temps pendant le chauffage, pour laisser dégager l'air qui s'est accumulé dans les tuyaux; quelquefois même on est obligé de les laisser constamment ouverts : ce dernier cas se présente surtout quand les tuyaux sont d'un grand diamètre.

1601. Il est facile de se rendre compte de la nécessité d'expulser l'air des appareils au commencement du chauffage, d'ouvrir de temps en temps les souffleurs pendant l'opération, et des circonstances qui peuvent rendre nécessaire leur ouverture permanente. Supposons les tuyaux pleins d'air, fermés et communiquant avec une chaudière à vapeur; la vapeur se propagera lentement dans la masse d'air des tuyaux, et ne se condensera qu'en petite quantité. Mais si les tuyaux sont d'un petit diamètre et si on ouvre un orifice à leur extrémité, l'air sera chassé par la vapeur comme par un piston, et quand la vapeur commencera à sortir à l'autre extrémité, tout l'air aura été expulsé; alors, en fermant l'orifice, la vapeur se condensera sans obstacle contre les parois des tuyaux; et s'il n'arrivait pas d'air avec la vapeur, le souffleur pourrait rester fermé pendant toute la durée du chauffage, sans que la condensation de la vapeur fût ralentie. Mais comme l'eau d'alimentation de la chaudière, à moins qu'elle ne provienne de l'eau de condensation introduite très-chaude dans la chaudière, renferme toujours de l'air, on est obligé d'ouvrir le souffleur de temps en temps pour faire dégager l'air qui s'est accumulé. Supposons maintenant que le tuyau ait un grand diamètre. Au commencement du chauffage, la vapeur se mêlera à l'air; et il faudra laisser le souffleur ouvert assez longtemps, après l'apparition de la vapeur, pour expulser la totalité de l'air que renfermait le tuyau, alors seule-

ment on pourra le fermer; mais si les joints ne sont pas parfaitement étanches, comme il y a un appel considérable à l'extrémité du tuyau où la veine de vapeur pénètre dans un conduit d'un diamètre beaucoup plus grand, l'air entrera par les fissures des joints, et nécessitera l'ouverture permanente du souffleur, autrement la quantité de vapeur condensée serait très-petite.

1602. *Soupapes à air.* Lorsqu'on emploie des tuyaux de cuivre pour surfaces de chauffe, comme le métal a peu d'épaisseur, et par conséquent peu de résistance, les tuyaux s'écraseraient par une condensation subite de la vapeur provenant d'un ralentissement du foyer, de la fermeture du robinet d'admission ou de toute autre cause imprévue. Pour éviter cet accident, on place sur les tuyaux, de distance en distance, des soupapes qui s'ouvrent par un petit excès de la pression extérieure sur la pression intérieure. Ces soupapes peuvent être disposées d'une infinité de manières différentes. La plus simple consiste en une soupape intérieure maintenue sur son siége par un ressort à boudin très-faible.

1603. *Écoulement de l'eau de condensation de la vapeur.* Dans quelques cas, on pourrait faire revenir directement à la chaudière, et par le même chemin que suit la vapeur, mais par une marche contraire, l'eau qui résulte de la condensation de la vapeur; mais il faudrait pour cela, comme nous l'avons dit à propos de l'évaporation, que la vapeur eût dans tout son cours une marche ascendante, et que les tuyaux conducteurs eussent un grand diamètre, afin que les mouvements opposés de la vapeur et de l'eau ne se gênassent pas. On pourrait aussi faire revenir l'eau de condensation à la chaudière par un canal distinct, pourvu d'une soupape qui s'opposât à l'ascension de l'eau de la chaudière dans les vases de condensation (874). Mais, dans tous les grands chauffages, on emploie des appareils très-simples pour faire sortir l'eau de condensation des condenseurs, sans permettre à l'air d'y rentrer, et l'eau chaude se rend ensuite dans une bâche qui se trouve près des chaudières, où elle est employée à l'alimentation par un des moyens que nous avons décrits pages 367 et suivantes du premier volume.

1604. Dans tous les appareils de chauffage à vapeur, l'étendue de la surface de condensation, la section du canal d'écoulement de la vapeur et les dimensions du générateur sont toujours déterminées de manière

que dans les parties les plus éloignées des tuyaux de condensation, la tension de la vapeur excède toujours la pression de l'atmosphère, car c'est à cette condition qu'on parvient au commencement du chauffage à faire sortir tout l'air des tuyaux. Ainsi, pour évacuer l'eau de condensation, il suffit de placer dans les parties de l'appareil où elle s'accumule, des tuyaux garnis de robinets qu'on ouvre de manière à ce qu'ils laissent écouler, dans un certain temps, un volume d'eau parfaitement égal à celui qui se produit; alors l'eau ne s'accumule pas dans les appareils de condensation, et il ne se dégage point de vapeur. Il est important de remarquer que s'il restait une certaine quantité d'eau dans les tuyaux, il n'en résulterait aucun inconvénient, et qu'il se dégagerait autant de chaleur que si toutes les surfaces métalliques intérieures étaient à nu, attendu que l'eau chauffée directement en dessus par la vapeur et sur tous les autres points par la chaleur transmise par le métal, aurait sensiblement la température de la vapeur. Mais la vapeur qui sortirait serait complétement perdue; ainsi il y a de l'avantage à ne pas laisser écouler toute l'eau qui se produit.

1605. Les tubes d'écoulement ont ordinairement la forme d'un siphon renversé ABC (fig. 16, pl. 88); l'une des extrémités communique avec la partie inférieure du vase de condensation, et l'autre débouche dans une bâche; la partie AB est garnie d'un robinet M. Cette disposition a pour objet d'éviter la sortie de la vapeur par un petit accroissement de pression intérieure, et la rentrée de l'air par une diminution de tension qui rendrait la force élastique de la vapeur plus petite que celle de l'atmosphère; circonstances qui peuvent se produire par la seule variation d'intensité du foyer.

1606. Lorsque la force élastique de la vapeur, au-dessus de l'eau de condensation, varie dans des limites très-étendues, il faudrait donner une grande longueur aux tubes AB et BC pour éviter la rentrée de l'air ou la sortie de la vapeur. Mais on ne leur donne qu'une petite hauteur, et on change la position de la clef du robinet quand cela est nécessaire.

1607. On pourrait aussi employer un vase qui se viderait de lui-même quand il serait rempli d'eau (fig. 17, pl. 88). Une boîte cylindrique sert de réservoir à l'eau de condensation; elle est percée inférieurement d'une ouverture *m* fermée par une soupape dont la tige est liée au flotteur *n*, dont le poids est tel, qu'il soulève la soupape quand

il est complétement submergé; et pour cela il suffit que la force ascensionnelle du flotteur entièrement plongé dans l'eau, soit égale à la pression exercée par la vapeur sur la tête de la soupape, diminuée de la pression de l'atmosphère qui agit sur la face inférieure. Cet appareil est rarement employé.

1608. Quelquefois l'eau de condensation est recueillie à une très-grande distance des générateurs, et on néglige de l'y faire retourner; cependant quand l'alimentation des chaudières peut se faire avec l'eau de condensation, il en résulte un grand avantage, car non-seulement on utilise la chaleur que renferme cette eau, mais on évite les dépôts qui se forment toujours quand on emploie de l'eau qui n'a pas été distillée; dépôts qui exigent des curages fréquents et qui produisent une altération rapide des chaudières. Maintenant, dans les grands chauffages, les petites machines à vapeur spéciales (879) sont préférées à tous les autres modes d'alimentation.

1609. *Poêles à vapeur.* Les poêles à vapeur sont des vases de différentes formes, placés dans l'intérieur des pièces qui doivent être échauffées, et qui sont en communication avec une chaudière à vapeur. On peut donner à ces vases toute espèce de forme; les conditions à remplir se réduisent à pourvoir chacun d'eux d'un souffleur et d'un tube de retour d'eau.

1610. M. Grouvelle a construit, il y a quelques années, dans l'établissement des Néothermes, des poêles à vapeur, représentés par les figures 12, 13 et 14 (pl. 89). Chaque appareil est composé d'une caisse en fonte fermée de toute part; la vapeur y arrive par le tube A, et l'eau de condensation s'échappe par le tuyau B; le souffleur C est disposé comme dans la figure 35 (pl. 87). L'air extérieur arrive derrière le poêle et pénètre dans la chambre à travers une grille placée à la partie supérieure de l'appareil.

1611. *Calorifères à vapeur.* Dans tout ce qui précède, nous n'avons parlé que des appareils placés dans les lieux mêmes qui doivent être échauffés. Mais on emploie souvent la vapeur pour chauffer l'air qui est introduit ensuite dans les pièces à chauffer et à ventiler.

1612. La disposition la plus simple des calorifères à vapeur consiste dans des caniveaux en briques (fig. 18, 19 et 20, pl. 88), renfermant un ou plusieurs tuyaux dans lesquels circule de la vapeur, et qui sont

parcourus par l'air qui doit s'échauffer; ces caniveaux peuvent être au-dessus ou au-dessous du sol. L'air doit marcher en sens contraire de la vapeur, attendu que la pression, et par conséquent la température de la vapeur, décroît de l'extrémité par laquelle arrive la vapeur à l'extrémité par laquelle s'échappe l'eau de condensation. Les tuyaux sont supportés par des rouleaux en fonte d'un plus petit diamètre au milieu que vers les bouts, et qui reposent sur des socles en fonte, figure 18, ou sur le sol, figure 19, ou dans des cavités pratiquées dans les murs latéraux du caniveau, figure 20.

Lorsque le calorifère ne doit occuper qu'un petit volume, on emploie plusieurs dispositions que nous allons décrire successivement.

1613. Les figures 21 et 22 (pl. 88) représentent un calorifère qu'on a souvent employé, mais qui, comme nous allons le voir, a de graves inconvénients. Ce calorifère est formé de deux caisses de fonte A et B, réunies par un grand nombre de tuyaux de cuivre parallèles, fixés sur les tubulures des caisses. La vapeur arrive par le tube C; l'eau de condensation s'échappe par le tube D; E est le robinet du souffleur. L'appareil est logé dans une caisse en bois ou en maçonnerie qui communique par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le lieu où l'air chaud est envoyé. Ces appareils perdent toujours, quelque soin qu'on ait apporté d'ailleurs à leur construction, parce que les tuyaux ne sont pas traversés simultanément par la vapeur, qu'ils s'échauffent inégalement, et qu'il en résulte des tiraillements qui déforment les joints. A la manufacture de tabac de Paris on a essayé d'éviter cet inconvénient en employant des boîtes en cuivre étamées intérieurement, en faisant pénétrer les tuyaux de cuivre de 1 centimètre dans les boîtes et en y coulant une lame épaisse d'étain; mais ce métal s'est séparé du cuivre et les appareils perdent beaucoup. On éviterait très-probablement la destruction des joints en employant des tuyaux courbes, comme l'indique la figure 23 (pl. 88). Mais la disposition représentée par les figures 1re et 2 (pl. 89) serait bien préférable. L'appareil est formé d'une caisse de fonte divisée en deux compartiments A et B; la cloison qui les sépare est percée de trois orifices sur lesquels sont montés trois tubes en cuivre C,C,C, ouverts par les deux bouts. Ces tubes sont enveloppés de trois autres tubes en cuivre D,D,D, d'un plus grand diamètre, fermés par la partie supérieure et fixés sur des tubulures que porte la face supérieure de la caisse. La vapeur

entre par la tubulure E, et l'eau de condensation sort par un tuyau fixé sur la tubulure F. Il est évident que par cette disposition l'inégalité des dilatations des tuyaux n'a aucune influence sur les joints.

1614. Les figures 3, 4, 5, 6 et 7 (pl. 89) représentent un calorifère à vapeur construit par M. Rudler, ingénieur de la manufacture des tabacs de Paris, et qui fonctionne depuis plusieurs années, sans qu'aucune fuite de vapeur se soit manifestée. Cet appareil est formé de deux caisses de fonte parallèles A et B, très-allongées. Leurs couvercles, représentés figure 7, sont percés d'un grand nombre d'orifices, dans lesquels sont soudées à la soudure forte, les extrémités des tuyaux de cuivre rouge F,F. La vapeur entre dans la caisse A par le tuyau C, et parcourt simultanément tous les tuyaux F, F. C est le tuyau d'admission de la vapeur; D, le tube souffleur. E, E sont les retours de l'eau de condensation qui se réunit également dans les deux caisses A et B. G est une caisse de tôle ouverte par les deux bouts, qui environne l'appareil.

1615. Dans tous les calorifères que nous venons de décrire, la vapeur doit parcourir simultanément plusieurs tuyaux, et c'est un inconvénient grave, parce que l'on n'est pas assuré qu'au commencement du chauffage, l'air sera complétement expulsé de l'appareil, et comme les tuyaux qui conservent de l'air condensent fort peu de vapeurs, il en résulte souvent une perte de surface de chauffe et des inégalités de dilatation qui occasionnent des fuites. Pour éviter ces inconvénients, il faut faire parcourir à la vapeur un seul tuyau, et la faire marcher de haut en bas; le tuyau peut être contourné de différentes manières, pourvu que la pente soit toujours dirigée dans le même sens.

1616. On peut disposer le tuyau comme dans les figures 8, 9, 10 et 11 (pl. 89); le circuit doit être enveloppé d'une caisse communiquant par le bas avec l'air extérieur, et par le haut avec le lieu dans lequel se rend l'air chaud. Si les tubes étaient d'un petit diamètre et devaient avoir une très-grande longueur pour présenter une surface de chauffe suffisante, il serait convenable de placer dans la même enveloppe plusieurs tubes ayant chacun un souffleur. Pour des tubes de $0^m,03$ de diamètre, il ne faudrait pas donner à chacun plus de 20 à 30 mètres de longueur. Les tubes peuvent être en cuivre ou en fer; dans ce dernier cas ils coûtent beaucoup moins, et n'exigent point de supports pour conserver leurs formes et leurs positions primitives.

1617. Ces dispositions sont plus simples, d'une construction plus facile, d'un prix beaucoup moins élevé, et enfin, pour la même surface de chauffe, produisent beaucoup plus d'effet, que celles que l'on emploie ordinairement, et doivent leur être préférées dans presque tous les cas.

§ 7. — CHAUFFAGE DE L'AIR PAR DES CALORIFÈRES A EAU CHAUDE A BASSE PRESSION.

1618. Lorsque de l'eau chaude est renfermée dans un vase fermé, elle se refroidit, et par conséquent échauffe l'air environnant. L'eau ayant une grande chaleur spécifique, un poids peu considérable de ce liquide peut échauffer un très-grand volume d'air. Par exemple, 1 kilog. d'eau à 100°, en se refroidissant jusqu'à 20°, laisse dégager 80 unités de chaleur, qui peuvent échauffer de 10°, $8 \times 4 = 32$ kilog. d'air, ou $32 : 1,3 = 24,61$ mètres cubes d'air. Aussi on emploie souvent, dans l'économie domestique, des vases pleins d'eau chaude, pour entretenir des corps à une douce température.

1619. Tous les appareils que nous avons décrits pour le chauffage à vapeur, pourraient servir de calorifères à eau chaude; pour cela il suffirait de remplir les vases ou les tuyaux d'eau bouillante, et quand cette eau serait suffisamment refroidie, de la faire écouler et de la remplacer par de l'eau chaude.

Mais on peut facilement établir dans les tuyaux une circulation continue d'eau chaude, par la différence de densité du liquide chaud, et de celui qui est refroidi. En effet, soit A, figure 1 (pl. 90), une chaudière, BCDEF un tuyau partant de la partie supérieure de la chaudière, et aboutissant par l'autre extrémité à sa partie inférieure. L'appareil étant complétement rempli d'eau, et la chaudière étant chauffée par un foyer, la chaleur se propagera dans la direction du tube BC; la colonne d'eau BC ayant alors une plus faible densité que la colonne descendante EF, le liquide contenu dans la première passera dans la seconde, et celui de la seconde rentrera dans la chaudière; le mouvement sera continu, parce que toujours la température de l'eau dans la colonne descendante sera moins élevée que dans la colonne ascendante.

1620. Il est évident que pour rendre la circulation plus active, il faut

disposer l'appareil de manière que le tuyau ascendant fasse peu de contours, afin que le liquide s'y refroidisse peu, et qu'au contraire, le canal descendant présente une grande surface.

1621. On conçoit facilement que le courant descendant peut être formé de tuyaux parcourant les salles, comme dans le chauffage à vapeur; que l'eau peut séjourner dans des poêles de différentes formes; et qu'enfin les tuyaux peuvent être placés dans des caisses ouvertes par les deux bouts, où ils chauffent, ou l'air des pièces elles-mêmes, ou de l'air extérieur, qui est ensuite dirigé dans les pièces qui doivent être à la fois chauffées et ventilées.

1622. Ces différents modes de chauffage à l'eau chaude appartiennent au domaine public; le principe du chauffage par la circulation de l'eau est employé depuis très-longtemps dans les buanderies; Bonnemain en a fait le premier l'application, avant 1824, au chauffage des couvoirs artificiels; l'échauffement de l'air par son mouvement contre des tuyaux à eau chaude placés dans des caniveaux, est employé depuis longtemps en Angleterre; enfin le chauffage par des poêles à eau chaude a été décrit en 1829 dans le *Repertory of arts inventions*.

1623. Les appareils de chauffage à eau chaude exigent de plus grandes surfaces de chauffe que les calorifères à vapeur ou à fumée; les tuyaux de conduite sont d'un plus grand poids, et exercent une plus grande charge sur les planchers; et une fuite peut occasionner de graves accidents. Mais ces appareils sont d'une construction plus simple, ils exigent peu de surveillance, ils se refroidissent lentement, et par conséquent peuvent maintenir le jour et la nuit une température convenable dans les lieux échauffés, quoique leurs foyers ne soient alimentés que pendant le jour seulement. Ces appareils sont maintenant très-employés en Angleterre, et ils commencent à se répandre en France.

1624. Dans les calorifères à eau chaude, on place toujours à la partie supérieure des colonnes un vase ouvert, par lequel on introduit l'eau dans l'appareil, par lequel se dégage l'air quand on le remplit ou qu'on chauffe l'eau pour la première fois, qui sert de dégagement à la vapeur quand il s'en forme, et enfin dans lequel s'effectuent les variations de volume de l'eau. Il serait convenable de garnir ce vase d'un tube extérieur qui indiquât la hauteur du niveau de l'eau.

Lorsqu'il sera question des édifices publics, nous entrerons dans tous

les détails de construction des grands appareils de chauffage à eau chaude, ou par une circulation générale ou par des circuits partiels chauffés par la vapeur. Nous nous bornons ici à parler des calorifères à eau chaude proprement dits.

1625. Dans un calorifère à eau chaude, il faut que la hauteur des colonnes, le diamètre intérieur des tubes et leurs développements soient tels, que le volume d'eau qui passe dans les tubes ne soit pas trop petit, car l'effet produit dépend à la fois du volume de l'eau qui circule dans l'appareil et du refroidissement qu'elle éprouve ; mais dans chaque cas particulier, il sera facile de reconnaître si la masse d'eau qui sort de la chaudière et qui y rentre dans un certain temps, correspond à l'étendue des surfaces de chauffe.

Supposons, par exemple, qu'on ait à fournir 60000 unités de chaleur par heure, ou $60000 : 3600 = 17$ unités par seconde. Si l'eau sort de la chaudière à 80° et y rentre à 30°, chaque litre en circulation émet 50 unités de chaleur ; ainsi il suffira qu'il sorte de la chaudière par seconde $17 : 50 = 0{,}34$ de litre d'eau. La température de l'eau étant de 80° dans la première colonne, et de 55° dans la seconde, les densités de l'eau dans ces deux colonnes seront sensiblement dans le rapport de $1 : (1 + 80 \times 0{,}00046)$ à $1 : (1 + 55 \times 0{,}00046)$, ou de 1,025 à 1,037 ; par conséquent si ces colonnes ont 2 mètres de hauteur, la colonne d'eau à 80° est équivalente, sous le rapport de la pression, à une colonne d'eau à 55° de $2^m \times 1{,}025 : 1{,}037 = 1^m{,}97$; ainsi la hauteur motrice en eau à 55° $= 0^m{,}03$. Si on suppose que le tuyau ait $0^m{,}10$ de diamètre, chaque mètre courant aura $0^m{,}314$ de surface ; et comme la surface totale du tuyau doit être de $60000 : 466 = 128$ mètres carrés, sa longueur sera de $128 : 0{,}314 = 406^m$. Alors le volume d'eau qui s'écoulera par seconde, sera donné par la formule

$$Q = 20{,}8\sqrt{\frac{HD^5}{L + 54D}}$$

dans laquelle H est la pression en eau, D le diamètre de la conduite, et L sa longueur. En faisant dans cette formule $H = 0{,}3$, $D = 0{,}1$, et $L = 406$, on trouve $Q = 0{,}00056$, ou 0,56 litres. Ainsi la vitesse de circulation sera suffisante.

1626. Nous avons déjà dit que Bonnemain fit le premier l'application des calorifères à eau chaude au chauffage des couvoirs arti-

ficiels. Quoique cet appareil soit maintenant complétement abandonné, et qu'il ait beaucoup de défauts, comme c'est le premier calorifère à eau chaude qui ait été employé, et qu'il renferme quelques dispositions ingénieuses qui pourraient être utiles dans d'autres circonstances, nous le décrirons avec détails. Les figures de 2 à 10 (pl. 90) représentent les différentes parties de l'appareil. Figure 2, élévation; figure 3, coupe horizontale à la hauteur du couvercle de la chaudière; figure 4, coupe verticale dans le sens des barreaux de la grille; figure 5, coupe horizontale à la hauteur du milieu de la chaudière; figure 6, coupe verticale perpendiculaire à la direction des barreaux de la grille; figure 7, élévation, sur une plus grande échelle, du registre qui ferme plus ou moins l'accès de l'air dans le foyer; figure 8, coupe transversale de ce registre; figure 9, mécanisme destiné à faire mouvoir le registre; figure 10, coupe verticale de l'ensemble de l'appareil à une petite échelle.

A, foyer circulaire placé dans la chaudière; B, grille qui le sépare du cendrier. C,C,C, tuyaux dans lesquels circule la fumée; ils sont placés dans la chaudière, au nombre de cinq, et complétement environnés d'eau. D, tubulure fixée au sommet de la chaudière, communiquant avec un tuyau vertical FG réuni à un tuyau horizontal E, auquel sont soudés des ajutages à brides, qui s'adaptent à un égal nombre de tubes; cet ensemble de tubes passe à travers la paroi de l'étuve; il traverse celle-ci sous une pente insensible, et va sortir par le côté opposé; les mêmes tubes deux fois recourbés, rentrent dans l'étuve 20 à 25 centimètres au-dessous, la traversent de nouveau pour sortir et rentrer encore; enfin, après avoir fait dans l'étuve deux ou trois circulations semblables, ils se réunissent de nouveau au dehors de l'étuve en un seul tube horizontal H, auquel est adapté un tuyau qui descend latéralement et pénètre dans la chaudière par sa partie inférieure. Ce tuyau pourrait entrer dans la chaudière par sa partie supérieure, et cette disposition est même plus commode pour placer et démonter le calorifère; mais dans ce cas, il serait convenable de faire descendre le tuyau assez près du fond, d'interposer une capsule en cuivre, fixée par trois attaches, afin que l'eau échauffée ne se dirigeât pas vers cet orifice, ce qui ralentirait le mouvement de l'eau; enfin, il serait utile de souder à ce tuyau, autour de toute la partie plongée dans la chaudière, une double enveloppe pleine d'air, qui empêchât que l'eau descendante ne fût échauffée en passant dans la chaudière, circons-

tance qui diminuerait la vitesse de circulation. Un tube ouvert K, placé au-dessus du point le plus élevé du tuyau FG, sert de dégagement à l'air contenu dans l'eau; un autre tube L, adapté à l'une des parties inférieures du circuit, mais qui dépasse celles qui sont les plus élevées, est surmonté d'un entonnoir par lequel on remplit l'appareil. *s* (fig. 7 et 8), registre à bascule contenu dans une boîte formant saillie à l'extérieur de l'appareil; ce registre mobile autour d'un axe *u*, est mû par la tringle *v*. *x*, tige en fer dont le bout inférieur s'engage dans l'écrou de cuivre *t*, fixé au fond du tuyau de plomb enveloppant *y*. L'extrémité supérieure de la tige *x* est garnie d'une rondelle en cuivre *z* sur laquelle vient battre le talon *a'* du levier coudé *b'*, qui fait mouvoir la tige *v*, et par suite le registre qui règle l'introduction de l'air dans le foyer. Le régulateur est, comme on voit, fondé sur l'inégale dilatation du plomb et du fer, qui agit en augmentant et en diminuant l'orifice d'entrée de l'air destiné à la combustion; l'appareil est plongé dans la chaudière.

1627. Je ferai sur cette disposition plusieurs observations qui me paraissent importantes. D'abord, le fourneau n'est pas construit de manière à donner un grand effet utile, le foyer a une trop grande capacité, et il est construit de manière qu'on ne puisse y brûler que du charbon de bois. Le régulateur est ingénieux, mais il est très-mal placé, car ce n'est pas l'eau qu'il faut maintenir à une température constante, mais l'air de l'étuve; par conséquent il faut à chaque instant lui fournir une quantité de chaleur égale à celle qu'il perd par les parois, et cette quantité varie avec l'heure du jour et de la nuit, et d'un jour à un autre, suivant une foule de circonstances; ainsi c'est dans l'étuve que devrait être placé le régulateur. A la vérité, l'auteur a cherché à obvier à l'inégale déperdition de chaleur de l'étuve en raccourcissant ou en allongeant la tige de fer *x*, par un mouvement de rotation qui la fait entrer plus ou moins dans l'écrou *t*. Mais cette opération exige une attention continuelle que l'on éviterait en plaçant le régulateur dans l'étuve même. On aurait d'ailleurs l'avantage de donner au tube et à la tige une plus grande hauteur, ce qui produirait une plus grande différence de dilatation, et par suite un mouvement très-sensible pour une légère différence de température. Il serait aussi plus avantageux d'employer du cuivre au lieu de plomb, pour former le tuyau du régulateur, quoique la dilatation de ce dernier métal soit plus grande, parce que le plomb étant très-ductile,

la pression exercée sur l'écrou *t* doit nécessairement finir par l'allonger et par rendre le régulateur inexact; et d'ailleurs la grande épaisseur du plomb rendrait très-peu sensible l'appareil qui ne serait échauffé que par l'air. Mais le régulateur à air, dont nous avons parlé (1311), serait bien préférable sous tous les rapports.

1628. Les calorifères à eau chaude présentent une particularité que nous avons déjà signalée dans certains calorifères à air chaud, et qui permet de diminuer beaucoup la longueur du circuit et de leur donner des formes beaucoup plus simples. Quand l'eau chaude en descendant, au lieu de parcourir un seul canal, se divise dans plusieurs tuyaux, quels que soient d'ailleurs leurs formes, leurs diamètres et leurs longueurs, le liquide s'écoule dans tous à la fois et avec des vitesses qui ne varient que par les frottements que le liquide y éprouve, et qui sont parfaitement égales quand les tubes sont les mêmes. Car, si l'on supposait que la vitesse fût plus petite dans un tuyau que dans tous les autres, le liquide y serait plus froid, et par suite la vitesse augmenterait. C'est d'ailleurs un fait bien constaté par l'expérience. Il résulte de là, qu'il n'y a jamais que très-peu de différence entre les températures des différentes parties de l'appareil, et que les joints ne sont pas sujets à s'altérer comme dans certains calorifères à vapeur. C'est d'après ce principe que sont construits les calorifères que nous allons décrire.

1629. Les figures 11 et 12 (pl. 90) représentent un calorifère à eau chaude, construit il y a longtemps par M. Derosne. La première est une coupe verticale, et la seconde une coupe horizontale suivant xx'. L'eau s'élève dans un canal central, et descend dans un tube annulaire, traversé par des tuyaux circulaires, ouverts par les deux bouts, qui sont parcourus par l'air extérieur. La chaudière est placée dans un fourneau, et tout l'appareil qui la surmonte dans un cylindre ouvert à ses deux extrémités, dont la partie inférieure se trouve de quelques centimètres au-dessous de l'origine des surfaces de chauffe.

1630. La figure 13 (pl. 90) est une coupe verticale; et la figure 14, une coupe horizontale d'un calorifère beaucoup plus grand, disposé d'une manière différente. L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre le système de circulation. Le tube *mn* est destiné à donner issue à la vapeur qui pourrait se produire.

1631. La figure 1re (pl. 91) représente un appareil disposé d'une autre

manière. Les tuyaux de chauffe sont en fonte; ils font plusieurs circonvolutions horizontales dans le même plan vertical, et sont embranchés sur deux tuyaux horizontaux AA et BB, placés à la hauteur des deux extrémités de la colonne d'eau chaude. Les figures 2 et 3 représentent les dispositions d'une série verticale de tuyaux avec des jonctions à collets et à emboîtement.

1632. La figure 4 (pl. 91) représente une forme et une disposition beaucoup plus convenables pour les tuyaux horizontaux; avec une moindre circulation on en obtiendrait plus de surfaces de chauffe, et aucune veine d'air n'échapperait au contact des surfaces métalliques. En employant cette disposition, il faudrait compter toutes les surfaces extérieures comme surfaces de chauffe.

1633. La figure 5 (pl. 91) représente le calorifère à eau chaude de M. H. C. Price's, qui est employé maintenant dans un très-grand nombre d'établissements publics en Angleterre. Les surfaces de chauffe sont des caisses en fonte étroites, verticales, carrées, ayant 1 mètre de surface; elles sont en communication par deux angles opposés avec deux tuyaux horizontaux. On fait les joints en interposant entre les collets une toile en fil de fer enduite de mastic rouge; ce mode de jonction a très-bien réussi. Ces appareils, quoique entièrement dépourvus de compensateurs, ne perdent pas, et les joints n'ont jamais besoin d'être réparés. Il y a déjà de ces appareils qui sont chauffés par l'anthracite, avec alimentation continue, comme l'indique la fig. 9 (pl. 13). On regarde maintenant, en Angleterre, ces appareils, comme les meilleurs calorifères.

1634. MM. Thomas et Laurens ont construit, il y a quelques années, dans une raffinerie de sucre, un calorifère à eau chaude disposé d'une manière particulière. Ils avaient pour but d'utiliser la chaleur des eaux de condensation de deux appareils d'Howard, et de faire servir plusieurs fois la même eau à la condensation de la vapeur. On condensait par heure à peu près 900 kilogr. de vapeur, et l'eau de condensation était à 55°. Les figures 6 et 7 (pl. 91) représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil. AA est un réservoir dont le fond est garni de douze tubes en cuivre; chacun en renferme un autre, concentrique, d'un plus petit diamètre, et qui s'élève au-dessus du réservoir; à la partie inférieure, l'intervalle des tubes concentriques est fermé, et de petits tubes D, D, établissent une communication entre ces espaces annulaires

et un tube I à trois branches horizontales H, H, H. L'eau chaude est élevée dans le réservoir A au moyen d'une pompe, et s'y maintient à une hauteur sensiblement constante au moyen du robinet à flotteur E, et du tuyau F qui sert de trop plein; l'eau chaude descend par les douze conduits annulaires, passe par les tubes D, D, dans les tuyaux H, par lesquels elle s'écoule; tandis que l'air extérieur s'élève dans les tuyaux C, C, C, s'échauffe et se répand dans les séchoirs. Ces tuyaux renferment des plaques de zinc qui s'échauffent principalement par le rayonnement des tuyaux enveloppants et qui transmettent ensuite par contact cette chaleur à l'air.

§ 8. — CHAUFFAGE DE L'AIR PAR L'EAU CHAUDE A HAUTE TEMPÉRATURE.

1635. M. Perkins a imaginé, il y a quelques années, un nouveau mode de chauffage de l'air par l'eau, qui est maintenant employé dans un grand nombre d'établissements publics d'Angleterre; ces appareils sont très-multipliés dans le Musée Britannique. Le calorifère de Perkins se compose d'un circuit de tuyaux, comme pour le chauffage à eau chaude ordinaire, mais les tuyaux n'ont qu'un petit diamètre, le vase d'expansion est exactement fermé, et enfin l'eau est portée, du moins en sortant du foyer, à une température très-élevée. Une partie du circuit est placée dans un fourneau, le reste circule dans les pièces qui doivent être chauffées, ou serpente dans des caisses ouvertes par les deux bouts, où il échauffe l'air qui doit servir au chauffage et à la ventilation.

1636. *Disposition générale des appareils.* La figure 1re (pl. 92) représente la disposition la plus simple des appareils dont il est question. Le circuit *abcdefghik* est exactement fermé. A, B, C sont trois spirales à bases circulaires ou carrées formées par le tube : l'une A, est placée dans un foyer, les autres dans les pièces qui doivent être échauffées. *m* est un vase dans lequel se fait l'expansion de l'eau. *n* est un orifice pour le dégagement de l'air quand on remplit l'appareil.

1637. Dans l'appareil indiqué (fig. 2), l'eau chaude descend simultanément par quatre tubes qui forment les quatre serpentins des deux étages échauffés.

1638. La figure 3 représente un calorifère dans lequel l'eau descend par deux tubes, dont chacun parcourt deux hélices. Les hélices sont logées dans des intérieurs de cheminées.

1639. On comprend facilement les dispositions qu'il faudrait employer pour chauffer de l'air extérieur qui serait ensuite introduit dans les différentes pièces.

1640. *Dimensions des tuyaux.* Les tuyaux ont $0^m,025$ de diamètre extérieur, 0,012 de diamètre intérieur, et ordinairement 4 mètres de longueur. Avec ces dimensions ils peuvent supporter une pression supérieure à 3000 atmosphères, comme il est facile de le voir au moyen de la formule (736). Les tuyaux sont essayés à la presse hydraulique sous une pression de 200 atmosphères, mais ils sont quelquefois soumis à une pression beaucoup plus grande.

1641. *Mode de jonction des tuyaux.* La figure 4 (pl. 92) représente la fermeture d'un tuyau à un des bouts. Le tuyau est taraudé et son extrémité est taillée en biseau; il est recouvert d'un écrou dont le fond est plat; en serrant fortement l'écrou, le biseau du tuyau entre dans le fer de l'écrou et forme un joint parfaitement étanche.

1642. On voit (fig. 5) la méthode qu'il faudrait employer pour fermer un orifice percé dans un vase de fer terminé par une surface plane. La partie inférieure du talon de la vis présente un biseau annulaire dont l'arête, par un fort serrage, s'applique exactement sur la surface plane du vase.

1643. Les figures 7 et 8 représentent le mode de jonction de deux tuyaux réunis bout à bout; les deux extrémités des tuyaux sont taraudées dans le même sens; le bout de l'un d'eux est plat, celui de l'autre est en biseau. On les réunit par un écrou taraudé, à gauche dans un bout, et à droite dans l'autre; en serrant l'écrou, les tuyaux ne pouvant pas tourner, tendent à se rapprocher; et par un fort serrage on obtient un joint parfait. J'ai vu des tuyaux dans lesquels le biseau de l'un d'eux avait pénétré de près de 1 millimètre dans le plan qui terminait l'autre.

1644. Un autre mode de jonction est indiqué dans les figures 9 et 10; mais il est plus compliqué, plus cher et moins solide. Les deux tuyaux sont garnis chacun d'un bourrelet, et ils sont réunis par une pièce de fer qui a extérieurement la forme de deux cônes opposés par leurs bases, contre lesquels les deux tuyaux sont fortement serrés par deux écrous à boulons qui traversent deux étriers appuyés sur les bourrelets.

1645. On voit dans la figure 11 (pl. 92) le mode de jonction d'un tube à angle droit sur un autre. La jonction a lieu au moyen d'une pièce de

fer intermédiaire sur laquelle le premier et les deux branches du dernier sont fixés par le moyen indiqué figure 4.

La figure 12 représente le mode de jonction employé pour réunir deux tuyaux parallèles. Les deux tuyaux communiquent par une pièce de fer doublement conique, sur laquelle ils sont fortement serrés par un étrier garni de boulons.

1646. *Vase d'expansion.* Ce tube, court et d'un plus grand diamètre que les tubes de circulation, est placé à la partie la plus élevée du circuit. Sa capacité doit être au moins des 0,15 de la capacité totale des tubes. A côté du tube d'expansion se trouve un tube d'une moindre hauteur, destiné à faire écouler l'air quand on remplit l'appareil d'eau. Les orifices du vase d'expansion et du tube à air se ferment par la disposition indiquée figure 4.

1647. *Remplissage de l'appareil.* On pourrait remplir l'appareil en versant simplement de l'eau par le tube d'expansion, le tube à air étant ouvert. Mais comme les tubes n'ont qu'un très-petit diamètre, il serait à craindre qu'il ne restât de l'air dans l'appareil, circonstance qui l'empêcherait de marcher et qui pourrait produire de graves accidents. On opère généralement le remplissage au moyen d'une pompe foulante, qui sert ensuite à essayer l'appareil sous une pression d'au moins 200 atmosphères. On introduit longtemps par le tube d'expansion ou par le tube à air, de l'eau qui sort par celui des deux orifices qui reste ouvert.

1648. *Robinets.* Lorsque la partie du circuit qui descend du sommet de la colonne ascendante, renferme plusieurs branches, l'eau circule simultanément dans toutes, comme nous l'avons déjà remarqué plusieurs fois, et tous les calorifères partiels sont chauffés. On a essayé différentes dispositions pour arrêter le mouvement de l'eau dans un ou plusieurs de ces tuyaux, mais on n'a rien obtenu de satisfaisant. On trouve dans l'ouvrage anglais de M. C. J. Richardson la disposition représentée par les figures 13 et 14, pour établir à volonté la circulation dans deux des trois tuyaux A, B et C, au moyen d'un piston dont la tige passe à travers une boîte à étoupe et qui est manœuvré par un levier. Mais cet appareil n'est pas employé; les boîtes à étoupes ne peuvent supporter ni une aussi grande pression, ni une aussi haute température. Dans tous les appareils on chauffe toujours tous les embranchements.

1649. *Fourneaux.* On a reconnu par expérience que la longueur des tubes renfermés dans le foyer devait être à peu près un sixième de la longueur totale du circuit. Les fourneaux sont disposés de différentes manières. Dans la figure 3 (pl. 92), les tubes sont contournés en hélice à base carrée ; la flamme, à la sortie du foyer, parcourt la moitié des tubes en montant, et l'autre en descendant; une petite murette verticale dirige ce mouvement. Dans la figure 4 (pl. 42) les tubes sont divisés par couches horizontales; une d'elles sert de grille; les autres, placées au-dessous de la seconde, sont traversées par la flamme en descendant; dans cette dernière disposition, le mouvement de l'eau chaude doit être en sens contraire de celui de l'air brûlé.

1650. Les figures 15, 16 et 17 (pl. 92) représentent le fourneau employé dans les calorifères du Musée Britannique. La figure 15 est une perspective de l'appareil, en supposant qu'on ait enlevé le mur de devant. La figure 16 est une coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 17); et la figure 17 une coupe suivant la ligne yy' (fig. 16). Le foyer est alimenté par la partie supérieure; l'air brûlé parcourt un canal qui fait le tour du foyer et dans lequel circulent les tubes.

1651. Dans les appareils qui existent en Angleterre, la température des tuyaux, à la partie supérieure du circuit, est ordinairement de 300 à 400° Fahrenheit, à peu près de 150 à 200° centigrades; à la partie inférieure de la colonne descendante, près du foyer, elle n'est que de 60 à 70° centigr. Ces températures correspondent à des pressions de 4 à 15 atmosphères seulement. Mais comme dans le foyer les tubes sont portés au rouge, les pressions intérieures peuvent devenir beaucoup plus considérables; si l'eau atteignait la température du rouge obscur qui correspond à peu près à 500°, d'après la formule citée (44), la pression s'élèverait à 857 atmosphères.

1652. Malgré tous les soins apportés dans la fabrication des appareils et les essais sous des pressions incomparablement supérieures à celles qu'ils supportent habituellement, il paraît qu'ils perdent toujours un peu; car, d'après les renseignements recueillis près de M. Perkins lui-même, il faut ajouter tous les huit ou dix jours, à peu près un demi-litre d'eau dans les grands appareils. On ne sait pas d'où proviennent ces pertes, car on n'aperçoit aucune fuite.

1653. On ne donne jamais aux tubes un développement total qui ex-

cède 150 à 200 mètres, afin que la circulation s'établisse convenablement, à moins qu'il n'y ait plusieurs embranchements et que la hauteur de l'appareil ne soit considérable. Dans le Musée Britannique, toutes les circulations sont simples; mais un fourneau sert pour deux appareils. L'année dernière il y avait 18 fourneaux, et 36 circuits, qui ont coûté 90,000 francs.

1654. En Angleterre, on compte deux pieds de longueur de tuyaux pour échauffer 100 pieds cubes de capacité, ce qui revient à peu près à $0^m,05$ de surface de chauffe pour 4 mètres cubes, ou à 1 mètre carré pour 80 mètres cubes. MM. Gandillot établissent ces calorifères à raison de 9 francs le mètre courant de tubes, tout compris. Nous reviendrons plus tard sur ce mode de chauffage en parlant du chauffage et de la ventilation des habitations.

CHAPITRE XIV.

CHAUFFAGE DES LIQUIDES.

1655. Les liquides peuvent être échauffés, directement, par circulation, et par la vapeur. Nous examinerons successivement le chauffage direct des liquides, le chauffage de l'eau des bains, les appareils de lessivage, le chauffage des liquides par la vapeur, et les appareils culinaires. Cet ordre nous permettra de passer en revue tous les modes de chauffage, et de réunir ceux qui appartiennent à une grande industrie. Dans le dernier paragraphe, nous parlerons de quelques appareils qui à la rigueur auraient pu être placés dans le chapitre suivant, mais qu'il nous a paru plus convenable de ne pas séparer de la classe à laquelle ils appartiennent réellement.

§ 1er. — CHAUFFAGE DIRECT DES LIQUIDES.

1656. Nous rappellerons d'abord quelques principes que nous avons déjà énoncés. Lorsqu'un liquide est renfermé dans un vase, on peut l'échauffer directement en le plaçant sur un foyer et en faisant circuler la fumée autour des parois du vase. Si la circulation avait lieu seulement autour des parois et au-dessus du vase, l'échauffement du liquide se ferait avec une très-grande difficulté, car ces corps sont très-mauvais conducteurs de la chaleur et ne s'échauffent réellement que par les mouvements que la chaleur y produit. Quand la chaleur est appliquée à la partie inférieure du vase, les couches liquides qui sont immédiatement en contact avec le fond du vase et qui s'échauffent directement, deviennent spécifiquement plus légères que celles qui sont au-dessus, s'élèvent et sont remplacées par d'autres qui, après s'être échauffées, s'élèvent à leur tour.

Il en est évidemment de l'échauffement des liquides comme de la vaporisation, la capacité des vases n'a aucune influence sur l'emploi utile du combustible, c'est uniquement la surface de la chaudière qui transmet la chaleur; par conséquent, cet élément est le seul qui doive être calculé de manière à enlever à l'air chaud la plus grande quantité possible de chaleur.

1657. Pour déterminer l'étendue de la surface de chauffe, on peut se servir des mêmes données que pour la vaporisation, c'est-à-dire estimer que la quantité de chaleur que transmet un mètre carré de surface, est équivalente à celle qui vaporiserait de 15 à 20 kilogr. d'eau par heure. A la vérité, dans le cas dont il s'agit, si la température que doit acquérir le liquide était de beaucoup au-dessous de 100°, la quantité de chaleur qui passerait à travers une même étendue de la surface de la chaudière serait plus grande que si cette chaleur devait être employée à la vaporisation, car nous avons vu que la chaleur qui traverse le métal est sensiblement proportionnelle à la différence entre la température moyenne de l'air chaud et celle du liquide, mais l'accroissement de cette différence est peu considérable, et d'ailleurs il vaut mieux avoir un excès de surface. Ainsi on prendra 1 mètre carré de surface de chauffe pour 3 à 4 kilogr. de houille ou 6 à 8 kilogr. de bois à brûler par heure.

1658. La surface de la grille, la section des carneaux et celle de la cheminée se calculeront comme pour les chaudières à vapeur.

1659. Quand le liquide que l'on doit échauffer est volatil, il est important de fermer exactement la chaudière, ou du moins de la couvrir de manière que l'air qui est au-dessus du liquide ne se renouvelle pas facilement; parce que l'évaporation qui aurait lieu absorbant une grande quantité de chaleur, l'effet utile du combustible serait diminué, et l'échauffement du liquide serait retardé. Il pourrait même arriver, si l'étendue de la surface du liquide était très-grande, relativement à la quantité de combustible brûlée dans le foyer, que la température du liquide ne pût pas dépasser une certaine limite.

1660. Tous les appareils que nous avons indiqués pour la vaporisation peuvent servir à l'échauffement des liquides; mais on emploie toujours pour ce dernier objet les appareils les plus simples.

1661. Il est important de remarquer que dans le chauffage des liquides on peut utiliser presque complétement la chaleur dégagée, en

produisant le tirage par la chaleur avant ou pendant le chauffage du liquide, ou par une action mécanique.

1662. Dans quelques cas particuliers, les appareils destinés à chauffer les liquides sont cependant disposés de manière à satisfaire à certaines conditions particulières. Nous en donnerons quelques exemples. Dans les raffineries de sucre, il faut chauffer rapidement l'eau dans laquelle on fait dissoudre le sucre brut, et il faut arrêter le feu quand sa température approche de celle de l'ébullition. Lorsque le chauffage n'a pas lieu par la vapeur, on emploie l'appareil représenté par les figures 7, 8 et 9 (pl. 96); le foyer est très-grand, la flamme se répand uniformément sur le fond de la chaudière pour gagner un canal annulaire qui communique avec la cheminée; on éteint le feu en retirant le combustible qui couvre la grille. Dans les fabriques de crème de tartre, les chaudières dans lesquelles on dissout le tartre brut pour le faire cristalliser et le séparer des matières insolubles qu'il renferme, doivent être coniques, afin que les dépôts se rassemblent facilement dans un petit espace, et les appareils doivent être construits de manière que leur refroidissement soit très-lent. Les chaudières sont alors disposées comme l'indiquent les figures 5 et 6 (pl. 49).

§ 2. — CHAUFFAGE DE L'EAU DES BAINS.

1663. Dans tous les cas particuliers qui peuvent se présenter, le calcul de la quantité de chaleur qu'il faut produire dans une heure est facile à faire. Une baignoire ordinaire contient environ de 280 à 300 kilogr. d'eau ; en supposant l'eau à 0°, la température du bain de 30°, et 20 bains par heure, la quantité de chaleur à fournir à l'eau dans une heure sera de $6000 \times 30 = 180000$ unités, et la quantité de houille à brûler sera au plus de 30 kilog.; et comme on ne chauffe qu'une partie seulement de l'eau à une température de 70 à 80°, le volume d'eau à chauffer par heure sera à peu près de 2250 litres. Si on employait des chaudières analogues à celles qui sont destinées à produire de la vapeur à basse pression, tous les détails de construction seraient les mêmes, et toutes les dimensions des chaudières et des fourneaux se détermineraient de la même manière. Les chaudières devraient être placées au-dessus des salles de bain; le contraire ne pourrait avoir lieu qu'autant que l'on porterait la tempé-

rature de l'eau au-dessus de 100° dans les chaudières, et que l'on se servirait de la pression de la vapeur pour faire monter l'eau; mais cette disposition n'est jamais employée, parce que l'appareil serait trop compliqué et qu'il exigerait trop de soin et trop de surveillance; l'eau est toujours élevée au-dessus des bains par des pompes mues par des chevaux attelés à un manége, ou par d'autres moyens que nous indiquerons et qui coûtent infiniment moins.

1664. Voici quelques renseignements recueillis dans un des principaux établissements de bains de Paris, non situé sur la Seine, et où l'eau est chauffée dans des chaudières disposées comme l'indiquent les figures 1re et 2 (pl. 94). Chaque bain renferme 280 litres d'eau. La température moyenne des bains est de 30° en hiver, et de 28° en été. L'établissement donne par jour 80 à 100 bains en hiver, 180 à 200 en été. En 1822 on a donné 35796 bains, pour lesquels on a brûlé 318 voies de bois pelard de 750 kilogr., à 30 francs; en ajoutant au prix d'achat, 445 francs de frais de voiture et de transport, la dépense totale de combustible s'est élevée à 9,985 francs, et pour chaque bain à 0f,28. Depuis on a remplacé le bois par la houille, dont la voie de 15 hectolitres ras et pesant de 1000 à 1200 kilogr. a été payée 58f,20, et le prix moyen du bain, déduit de la consommation de trois années et de 170000 bains, a été réduit à 0f,186.

1665. Dans les établissements des bains Vigier, situés sur la Seine, on emploie un système de chauffage beaucoup plus avantageux : la totalité de la chaleur produite par le combustible est utilisée. L'appareil se compose d'une chaudière rectangulaire en tôle à deux foyers, et traversée par des tuyaux parcourus par la fumée. L'air brûlé s'élève ensuite dans des cheminées verticales qui communiquent à volonté avec un système de petits tuyaux horizontaux placés dans le réservoir d'eau froide; à l'autre extrémité de ces petits tuyaux, se trouve un ventilateur à force centrifuge, mis en mouvement par un ouvrier, et qui produit le tirage nécessaire à la combustion quand on fait passer l'air brûlé à travers le réservoir d'eau froide.

La planche 93 représente les différentes parties de l'appareil. La fig. 1re est une élévation du fourneau du côté des portes des foyers; la figure 2, une coupe longitudinale du fourneau; la figure 3, une coupe longitudinale du réservoir d'eau froide; la figure 4, une coupe transversale de ce même réservoir; et la figure 5, une projection horizontale de l'ex-

trémité de ce réservoir et du ventilateur. A,A, foyers; l'air brûlé parcourt d'abord la chaudière dans toute sa longueur, et seulement dans la moitié de sa largeur, il revient en avant en suivant l'autre moitié dans un canal A′, et parcourt ensuite deux canaux intérieurs B et C. D,D, cheminées en tôle par lesquelles l'air brûlé peut se dégager librement ou s'introduire dans le canal commun E. F, boîte en tôle, fixée à une des extrémités du réservoir d'eau froide, où viennent aboutir le tuyau E et douze tuyaux de cuivre G, de 20 mètres de longueur, de $0^m,1$ de diamètre intérieur, qui traversent le réservoir d'eau froide dans toute sa longueur. H, boîte en tôle, fixée à l'autre extrémité du réservoir d'eau froide où viennent aboutir les tuyaux G,G, et qui communique par les conduits Q,Q, avec les deux orifices du centre d'un ventilateur à force centrifuge I. K, cheminée d'écoulement du ventilateur. R, palier qui supporte l'axe de rotation. S, poulie fixée sur l'arbre. T, roue en fonte supportée par les paliers U,U, et qu'on met en mouvement par la manivelle V. LMNP, réservoir d'eau froide, garni intérieurement en plomb, et dont les parois sont maintenues de distance en distance par des tirants de fer qui ne sont pas indiqués dans la figure. *a*, volet mobile dans la porte du cendrier. *b*, flotteur plus léger que l'eau, fixé au tube *c*, qui est réuni au tube à robinet *e*, au moyen d'une boîte circulaire *d*, dont les deux joues peuvent facilement tourner autour d'un axe passant par leurs centres; par cette disposition le tuyau *e* ne donne issue qu'à l'eau qui se trouve au point le plus élevé dans la chaudière, et qui par conséquent est la plus chaude. *l*, *l*, registres des cheminées qu'on manœuvre par les tringles articulées *mn*, *mn*. La chaudière est garnie d'une enveloppe en bois destinée à diminuer son refroidissement. Les carneaux horizontaux sont garnis de plaques mobiles qui les ferment et qu'on peut facilement enlever pour les nettoyer.

Dans une expérience faite avec beaucoup de soin, on a brûlé en deux heures 0,53 stères de bois pelard pesant 200 kilogr.; on a élevé de $58^\circ,75$ la température de l'eau de la chaudière qui renfermait 7180 kilogr. d'eau, et de $8^\circ,75$ celle que contenait le réservoir, et qui avait un volume triple. Cet effet est équivalent à 7180^k d'eau élevée à 85°, ou à 20343^k d'eau chauffée de 30°, ou à $20343:280=72$ bains. Le prix du bois consommé étant de $0,53 \times 17,50 = 9^f,27$, le prix de revient de chaque bain est de $9,27:72 = 0^f,13$. On voit, d'après les détails que nous venons

de donner, que par l'emploi du ventilateur, l'effet utile du combustible augmente environ dans le rapport de 59 à 85.

La dépense de chauffage de chaque bain aurait été plus petite encore si on avait brûlé de la houille ; car en prenant seulement 7000 pour la puissance calorifique de ce combustible, et en supposant que l'hectolitre coûte $4^f,50$, comme un bain exige $280 \times 30 = 8400$ unités de chaleur, le prix de chaque bain aurait été de $4,50 . 8400 : (80 . 7000) = 0^f,06$.

La disposition du fourneau n'est pas bonne; le foyer est trop petit, ainsi que le carneau qui le suit; il en résulte que la flamme s'éteint très-vite et qu'il se produit beaucoup de fumée ; aussi les tuyaux qui traversent le réservoir d'eau froide sont promptement obstrués par une suie gluante difficile à enlever. La surface de chauffe est suffisante ; car elle est de $18^m,60$ pour 100 kilogr. de bois brûlé par heure, et par conséquent chaque mètre carré correspond à $100 : 18,60 = 5^k,3$ de bois. Mais toute la partie de la surface de chauffe inférieure des chaudières ne produit que très-peu d'effet. La section des cheminées est convenable.

1666. Dans les bains Vigier il y a encore un appareil destiné à élever l'eau et qui fonctionne sans dépense de combustible. C'est une machine à vapeur très-simple, dans laquelle la vapeur presse directement sur le liquide pour l'élever ; elle consomme beaucoup plus de vapeur, pour produire le même effet, que les machines à piston, mais comme toute la vapeur employée pour monter le liquide sert en même temps et en totalité à l'échauffer, il est fort indifférent d'en consommer une plus ou moins grande quantité.

Les figures 3 et 4 (pl. 94) représentent la disposition la plus simple de l'appareil dont il est question. A, est un réservoir en cuivre exactement fermé ; sa partie inférieure communique par un tube avec la partie supérieure d'un cylindre B, garni d'une soupape s'ouvrant de bas en haut et au-dessous de laquelle se trouve le tube d'aspiration. Le même vase A communique avec la partie inférieure d'un autre cylindre C, également muni d'une soupape, s'ouvrant aussi de bas en haut, et au-dessus de laquelle se trouve un tube E destiné à conduire l'eau dans le réservoir supérieur. A la partie supérieure du vase A, sont fixés deux tubes F et G, garnis des robinets *a* et *b*, qui communiquent, le premier avec le réservoir supérieur d'eau, et le second avec une chaudière à vapeur. Sur le tube F est ajusté un petit tube ouvert à son extrémité et garni d'un ro-

binet *c*. Le vase A renferme un flotteur plus léger que l'eau et d'un diamètre peu différent. *mn* est un tube de verre destiné à indiquer le niveau du liquide dans ce vase. Voici maintenant de quelle manière on fait fonctionner cet appareil. On ouvre le robinet *b* qui donne accès à la vapeur, et le robinet *c;* après quelques instants, l'air du vase A a été complétement expulsé et il se trouve remplacé par la vapeur; alors on ferme les robinets *b* et *c*, et on ouvre pendant quelques secondes le robinet *a;* la vapeur se condense, et le vase A se remplit d'eau froide; en ouvrant ensuite le robinet *b*, l'eau est refoulée dans le canal d'ascension E. Le flotteur H a pour objet de diminuer la quantité de vapeur condensée à la surface de l'eau, en empêchant cette surface de se renouveler par l'agitation.

Cet appareil, analogue à ceux qui sont connus dans les fabriques de sucre sous le nom de *monte-jus,* exige une manœuvre assez compliquée, qu'on a cherché à éviter en faisant ouvrir les robinets par différents moyens. Manoury-d'Ectot a fait construire il y a longtemps, à l'abattoir de Grenelle, une machine dans laquelle les mouvements des robinets *a* et *b* étaient produits par les variations de dilatation qu'éprouvaient deux tiges, l'une de fer, l'autre de cuivre, placées dans l'intérieur du vase, lorsqu'il était plein de vapeur ou d'eau froide. L'appareil était disposé comme celui que nous venons de décrire; un tube de fer était fixé sur les bords d'un orifice percé à la partie inférieure du vase, et s'élevait, près de sa paroi, jusqu'à son sommet; il renfermait une tringle de cuivre plus longue, fixée à sa partie supérieure, et qui dépassait l'extrémité inférieure, en sortant du vase; l'extrémité libre de la tringle de cuivre agissait à l'aide de plusieurs leviers sur les clefs des robinets à eau et à vapeur, de manière à les ouvrir et à les fermer aux époques convenables. J'ai vu marcher cet appareil; il fonctionnait, mais avec embarras, et exigeait beaucoup de surveillance. Depuis, M. Gengembre a construit dans les bains Vigier d'autres appareils qui marchent parfaitement depuis plus de quinze ans, et dont on est si satisfait, que la direction des bains en fait construire de nouveaux exactement sur le modèle des anciens et sans aucune modification.

Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 (pl. 94), donnent une idée exacte de cette machine. La fig. 5 est une élévation; la fig. 6, le plan; la fig. 7, une coupe verticale perpendiculaire à l'élévation; les fig. 8 et 9 re-

présentent l'appareil d'alimentation sur une plus grande échelle.

La machine se compose d'un cylindre en fonte A, portant à sa partie supérieure deux tubulures, diamétralement opposées, qui se terminent par des brides horizontales; sur la bride de la première B, est placée une chapelle C, communiquant avec la chaudière, et dans laquelle se trouve une soupape qui s'ouvre de bas en haut; cette soupape porte sur sa tige un poids D, qui la maintient fermée quand elle est abandonnée à elle-même; sur l'autre bride E, est fixée une autre chapelle F, dans laquelle se trouve aussi une soupape, mais qui s'ouvre de haut en bas; la partie supérieure de cette chapelle communique par un tube avec le réservoir G, et la partie inférieure avec le vase en cuivre H (fig. 7), percé d'un grand nombre de petits trous.

Le cylindre A est fermé à sa partie supérieure par un couvercle en fonte I, et fixé à sa partie inférieure sur le socle en fonte J, qui porte sur le côté, un tuyau M, garni d'une chapelle K, dans laquelle se trouve une soupape L, que son poids maintient fermée; cette chapelle a une tubulure latérale, sur laquelle est fixé le tube vertical en zinc N, qui se termine par les deux tubes P et Q. La tubulure M reçoit un tuyau vertical qui descend au-dessous du niveau des plus basses eaux de la Seine, et qui est terminé par une soupape qui s'ouvre de bas en haut. Le socle en fonte J porte encore deux pattes sur lesquelles sont fixés les deux corps de pompe O et O'.

La partie extérieure du cylindre est garnie d'une pièce de fonte S, sur laquelle est ajusté un balancier T, portant à ses extrémités des crochets en acier U; à cette même pièce S, se trouvent deux crochets mobiles, maintenus par des ressorts à boudin, et qui s'engagent dans les crochets fixes que porte le balancier T; enfin, aux extrémités de la pièce S, se trouvent deux coussinets en cuivre V, V, qui servent de guides aux tiges X et Z.

Chacun des corps de pompe O, O', est parcouru par un piston fixé à une tige; la tige X supporte un vase en zinc Y, et la tige Z, ajustée à la bielle A', porte un contre-poids B'. Ces tiges, dans leur partie moyenne, sont interrompues par un cadre articulé à ses extrémités, dont les vides reçoivent des tenons fixés aux extrémités du balancier T.

Le vase Y est percé au fond, d'un trou circulaire sur lequel repose la soupape C'. La tige de cette soupape traverse un guide fixe D' et porte à son extrémité un arrêt E', qui soulève la soupape quand il rencontre le

guide. Au-dessous de l'orifice se trouve un canal rectangulaire qui se prolonge au-dessus du réservoir G.

Tout le reste de l'appareil est destiné à l'alimentation régulière de la chaudière. R′ est un cylindre vertical, communiquant par sa partie inférieure avec le vase A, et renfermant une soupape qui s'ouvre par une pression dirigée de bas en haut. A la partie supérieure du cylindre se trouvent deux tubes S′ et T′, qui débouchent, le premier dans la boîte d'alimentation, le second dans la cuve G, mais après s'être élevé à une hauteur plus grande que la boîte d'alimentation. La boîte d'alimentation, fig. 8 et 9, se compose d'une caisse en fonte I′, sur laquelle est fixée une chapelle K′, ayant une tubulure à laquelle aboutit le tube S′, et un orifice inférieur fermé par la soupape L′, dont la tige sort de la chapelle à travers une boîte à étoupe; à l'autre extrémité de la boîte I′ se trouve un orifice qui communique par un tube avec la chaudière, et qui est fermé par une soupape M′ dont la tige sort de la caisse à travers une boîte à étoupe. Les deux soupapes sont maintenues fermées par des ressorts à boudins; mais un balancier N′, en agissant successivement sur la tige de chacune d'elles, les ouvre alternativement. L'axe du levier N′ est fixé à l'axe P′, et ce dernier est articulé à l'extrémité de la tige Z.

Voici maintenant comment agit cette machine. Supposons le cylindre A, plein d'eau; la soupape C est soulevée par le curseur G′ qui agit sur la tringle H′; alors la vapeur s'introduit dans le cylindre A, et la pression qu'elle exerce ferme la soupape d'aspiration, ouvre la soupape L et fait monter l'eau dans le tube N, d'où elle s'écoule simultanément par les tuyaux P et Q, dans les vases G et Y; lorsque ce dernier est rempli, ce qui arrive quand le cylindre A est vide, il devient plus pesant que le contre-poids B′, et dans sa chute il entraîne la tige X et fait monter la tige Z; quand le vase Y est descendu d'une hauteur égale à D′ E′, l'arrêt E′ retenu par le guide D′ ouvre la soupape C′, et l'eau qui remplissait le vase Y s'écoule dans le réservoir G; pendant l'ascension de la tige Z, le curseur G′ cesse d'appuyer sur le levier H′, la soupape C se ferme, et la vapeur cesse de s'introduire dans le cylindre A; alors celle qui le remplit se condense en partie par le refroidissement de l'enveloppe, la soupape F s'ouvre; et une certaine quantité d'eau du réservoir G arrive dans la boîte H, et

achève la condensation de la vapeur; en même temps la soupape L se ferme, celle d'aspiration s'ouvre, et le cylindre A se remplit d'eau. Pendant ce temps le réservoir Y s'est vidé complétement; le contre-poids B′ le fait remonter; la tige Z, en descendant, ouvre la soupape C, et les mêmes phénomènes se reproduisent. Les crochets U servent à maintenir le balancier T dans sa position, tant que la différence des poids du vase Y et du contre-poids B′ ne dépasse pas une certaine limite. Les deux corps de pompe O, O′, renferment de l'air qui par sa compression amortit les chocs qui se produisaient à chaque ascension et à chaque descente du vase Y.

Quant à l'alimentation de la chaudière, voici comment elle s'effectue. Quand l'eau, pressée par la vapeur, descend dans le cylindre A, une certaine quantité passe dans le cylindre R′, et de là dans les capacités K′ et I′, la soupape L′ étant ouverte; et quand la tige Z descend, la soupape L′ se ferme, la soupape M′ s'ouvre, et l'eau s'écoule dans la chaudière.

1667. On pourrait aussi élever l'eau au moyen d'une machine à vapeur à piston à haute pression, sans condensation; en employant ensuite la vapeur à chauffer l'eau, le travail ne coûterait rien; mais si la condensation avait lieu directement, la vapeur serait salie par la graisse des pistons et pourrait donner à l'eau une mauvaise odeur.

1668. Le travail dépensé pour produire le tirage dans l'appareil de chauffage des bains Vigier, pourrait être remplacé par une injection de vapeur à haute pression à l'origine des tuyaux G,G, fig. 3 (pl. 93); la chaleur de la vapeur passerait, au moins en grande partie, dans le réservoir d'eau froide; mais il faudrait pour cela une petite chaudière à haute pression. Ce mode de tirage ne serait employé utilement qu'autant que l'on élèverait l'eau par une machine à vapeur à haute pression, avec ou sans détente, mais sans condensation, et qu'on emploierait ensuite la vapeur au chauffage de l'eau.

1669. Mais on peut éviter complétement l'usage des moyens mécaniques pour produire le tirage, en l'effectuant avant ou pendant le chauffage de l'eau, c'est-à-dire, en placant la cheminée avant la chaudière, immédiatement au-dessus du foyer, ou en faisant monter de suite l'air chaud dans des tuyaux verticaux placés dans la chaudière.

1670. Les fig. 1, 2 et 3 (pl. 95) représentent un appareil dans lequel le tirage a lieu avant le chauffage; l'air brûlé en sortant du foyer s'élève verticalement à une hauteur de 3^m dans un canal environné d'eau, mais dans lequel il éprouve peu de refroidissement, et arrive dans une caisse placée à l'extrémité du réservoir d'eau, d'où il s'échappe par un grand nombre de tuyaux horizontaux aboutissant à une caisse semblable placée à l'autre extrémité du réservoir et qui communique à la cheminée. Dans les figures on a supposé deux foyers et deux colonnes ascendantes. Par cette disposition l'air brûlé peut être abandonné à une température très-basse; mais il faudrait faire passer la fumée successivement à travers deux réservoirs distincts, afin que la température de l'eau contenue dans le premier fût suffisamment élevée. Il faudrait aussi donner à la cheminée d'écoulement de l'air brûlé dans l'atmosphère une grande section, afin d'utiliser comme tirage la faible température de la fumée à la sortie des appareils de chauffage. On pourrait aussi changer complétement la disposition des surfaces de chauffe; mais il faudrait toujours employer au moins $1^m,50$ de surface de chauffe par kilog. de houille à brûler par heure.

1671. MM. Thomas et Laurens ont employé dans un établissement de bains de Paris, une disposition beaucoup plus simple et qui produit à peu près le même effet. Elle est représentée dans les fig. 10, 11 et 12 (pl. 94). La première est une coupe verticale faite par le milieu de la chaudière et du foyer; la seconde, une coupe verticale suivant xx'; et la dernière, une coupe horizontale par le plan yy'.

Cet appareil se compose d'une chaudière cylindrique horizontale, réunie, par une de ses extrémités, à une autre chaudière verticale de 3^m de hauteur, renfermant neuf tubes verticaux en cuivre, fixés à la méthode des tubes des chaudières des locomotives et complétement ouverts par les deux bouts. La maçonnerie est disposée de manière que l'air brûlé embrasse les deux parties de la chaudière et qu'il puisse s'élever simultanément par les tubes intérieurs. A l'extrémité supérieure de la chaudière se trouve un entonnoir renversé en tôle, destiné à conduire l'air brûlé dans la cheminée; on l'enlève pour nettoyer les carneaux. Un réservoir placé à côté, contient de l'eau qui est chauffée par circulation. L'appareil renferme 16^m carrés de surface de chauffe, et peut brûler 10 kilog. de houille à l'heure; l'air brûlé s'échappe à la partie supérieure à une

température de 50 à 60 degrés; le tirage est très-bon, même quand le cône qui surmonte le fourneau est enlevé.

Cette disposition, sous le rapport du peu d'étendue des surfaces de chauffe, de la simplicité de l'appareil et de l'effet utile produit, est supérieure aux autres et me paraît devoir être préférée.

1672. On pourrait obtenir en outre, dans les établissements de bains, une très-grande économie dans les frais de chauffage, en faisant écouler les eaux des bains dans de longs tuyaux, enveloppés d'autres tuyaux d'un plus grand diamètre, qui amèneraient l'eau froide, mais dans une direction opposée à celle de l'écoulement des eaux sales; on diminuerait certainement ainsi de beaucoup les frais de chauffage.

1673. On emploie aussi pour le chauffage des bains, des réservoirs en bois, avec des foyers et des circulations intérieurs. Les fig. 4 et 5 (pl. 95) représentent un de ces appareils. Un appareil analogue a été construit il y a quelques années par M. René Duvoir, dans un grand établissement de Paris, qui porte de l'eau chaude à domicile. La cuve a plus de 7^{m} de hauteur. Ces appareils perdent toujours, ils n'ont aucun avantage réel, et doivent être complétement rejetés. Pour chauffer de grandes masses d'eau à une température peu élevée, il est plus avantageux d'employer le chauffage par circulation, au moyen d'une chaudière placée à côté.

§ 3. — APPAREILS DE LESSIVAGE.

1674. Le blanchissage du linge n'est point exécuté dans de grands établissements, les soins minutieux qu'exigent les opérations ne le permettent pas; aussi tous les grands établissements de blanchissage qui se sont formés jusqu'ici sont tombés. Partout le blanchissage se fait dans les maisons particulières à des époques plus ou moins éloignées, ou chez de petits industriels dont le travail ne s'exerce jamais sur une grande échelle. Mais l'opération de blanchissage n'en est pas moins d'une grande importance, car elle coûte en France plusieurs centaines de millions, et par conséquent on ne doit négliger aucune des améliorations dont elle est susceptible.

1675. Le blanchissage s'effectue par plusieurs opérations distinctes. 1° L'*essangeage :* c'est le lavage du linge sale dans une eau claire et courante afin d'enlever les matières solubles dans l'eau. 2° L'*encuvage :* en-

tassement du linge essangé dans un cuvier, sur un fond mobile et percé de trous, en plaçant à la partie inférieure le linge le plus gros et le plus sale. 3° Le *coulage :* cette opération consiste à faire passer de la lessive provenant des cendres de bois, ou de l'eau dans laquelle on a fait dissoudre du sous-carbonate de soude ou de potasse, à travers le linge entassé dans la cuve, d'abord à froid et ensuite à 100°. Pour les petites cuves, le fourneau destiné à chauffer la lessive est à côté de la cuve ; on verse à la main le liquide chaud sur le linge, et on reçoit dans un baquet celui qui s'écoule pour le verser directement dans la chaudière. Le coulage dure de 18 à 20 heures. 4° *Savonnage :* cette opération a pour objet d'enlever les taches qui ont résisté au coulage. 5° *Rinçage :* lavage à l'eau claire et courante pour enlever la lessive et le savon. 6° *Séchage :* il a toujours lieu spontanément par l'exposition du linge à l'air libre ou dans des greniers.

1676. En 1804, Cadet de Vaux évaluait à 55 francs le prix du blanchissage de 500 livres de linge; savoir : cendres, 10 francs; savon, 8 francs; bois, 15 francs; onze journées, 22 francs. Le temps nécessaire était de 3 à 4 jours et une nuit, sans compter le temps du séchage. On estime aujourd'hui qu'à Paris le prix du blanchissage de 1500 kilogr. de linge est de 224 francs; savoir : essangeage, 18 francs; deux couleuses, 4 francs; combustible, 15 francs; alcali, 50 francs; soixante lavandières, 120 francs; savon, 12 francs; eau de javelle, 5 francs; total, 224 francs.

1677. Le procédé généralement suivi par les blanchisseurs a plusieurs graves inconvénients : 1° il exige un temps très-long, et un très-grand volume de lessive; 2° la lessive qui repasse à travers le linge est toujours de plus en plus sale et finit par salir elle-même le linge fin; 3° la lessive, dans la cuve, n'est jamais à 100°, et cette température est cependant nécessaire pour enlever certaines taches; 4° il y a beaucoup de chaleur perdue, et par le rayonnement du liquide et par l'évaporation; 5° enfin, l'évaporation concentre la lessive et peut l'amener à un degré où elle altère le linge.

1678. Curaudau a perfectionné les fourneaux; il a imaginé de placer les cuves au-dessus des chaudières, et au centre une pompe pour monter la lessive chaude; ces améliorations étaient déjà importantes, mais depuis, les appareils ont subi de grandes modifications. On peut maintenant les ranger en cinq classes : 1° les anciens appareils que nous venons de dé-

crire; 2° ceux dans lesquels la lessive est montée par la pression de la vapeur dans la chaudière; 3° les appareils à circulation; 4° les appareils à vapeur; 5° ceux dans lesquels le lessivage a lieu dans des roues mobiles (dash wheel). Nous ne parlerons pas de ce dernier mode de lessivage qui est trop étranger à notre objet.

1679. *Appareils dans lesquels la lessive est remontée par la pression de la vapeur qui se forme dans la chaudière.* Ces appareils ont été imaginés par M. Widmer de Jouy. Les figures 6 et 7 (pl. 95) représentent le premier qui a été construit; la cuve est montée immédiatement sur la chaudière et la ferme exactement; lorsque la pression de la vapeur est suffisante, le liquide s'élève dans la colonne centrale, se projette contre un chapeau conique qui la termine, et se disperse uniformément à la surface de la cuve. Dans cet appareil, le fourneau est mal disposé, parce que l'air brûlé gagne immédiatement la cheminée; en outre, il y a une grande évaporation à la surface de la cuve. Mais il serait facile de mieux utiliser la chaleur, d'élever les parois de la cuve, et d'abaisser le cône distributeur de manière à pouvoir fermer la cuve par un couvercle.

1680. On voit dans les figures 8 et 9 (pl. 95) l'appareil généralement employé dans les grandes blanchisseries de toiles.

1681. La figure 1re (pl. 96) est une coupe verticale d'un appareil analogue aux précédents, mais dans lequel on ne fait monter la lessive que quand elle est parvenue à une certaine température; pour cela, les tuyaux d'élévation sont garnis de robinets, et la chaudière d'une soupape de sûreté, qu'on charge d'un poids correspondant à la température que doit avoir la lessive; on ouvre les robinets *m*, *m* quand la soupape de sûreté se soulève. Les tuyaux de retour d'eau sont munis de soupapes qu'on ouvre à volonté. Cette disposition a l'inconvénient de faire perdre beaucoup de chaleur par l'évaporation, et de produire peu d'effet malgré l'élévation de température du liquide au-dessus de 100°; car aussitôt que la lessive est exposée à l'air, l'évaporation abaisse immédiatement sa température à 100°.

1682. Ce mode de chauffage a été modifié d'une manière heureuse par M. René Duvoir. L'appareil de ce constructeur est représenté dans les figures 10 et 11 (pl. 95). A,A, fourneau; B,B′, bouilleurs; C, cuvier; D, couvercle suspendu à un contre-poids E par des cordes passant sur des poulies; F, tuyau ascendant partant des bouilleurs; G, calotte qui

termine le tuyau; H, tuyau descendant ramenant l'eau dans le bouilleur; I, grille en bois sur laquelle on place le linge; LL, charpente portant les cuviers. *a*, flotteur; *b*, levier à contre-poids auquel est attachée la tige du flotteur; *c*, soupape à air; *d*, soupape pour la fermeture du tuyau descendant; *e*, couvercle du bouilleur serré par une vis. La vapeur formée dans le bouilleur presse le liquide et le fait monter par le tuyau F sous la calotte G, qui le projette sur le linge dans tous les sens. Lorsque tout le liquide est monté, le flotteur a fait ouvrir la soupape à air *c*; alors la soupape *d* s'ouvre par la pression du liquide, et la lessive qui a passé sur le linge retourne au bouilleur par le tuyau H. Aussitôt que le bouilleur est rempli, la soupape à air se ferme par l'effet de l'élévation du flotteur. L'équilibre s'établissant, la soupape *d* se ferme et les mêmes effets se reproduisent périodiquement. L'ascension du liquide a lieu toutes les heures. On emploie, avec cet appareil, pour le blanchissage de 1000 kilogr. de linge, 150 kilogr. de bois, 6 boisseaux de cendres, 3 kilogr. de soude et 9 kilogr. de savon; l'opération dure 6 heures. Une commission du comité des arts économiques de la Société d'encouragement a fait un rapport très-favorable sur cet appareil. D'après les renseignements fournis par le blanchisseur chez lequel les expériences ont été faites, l'appareil, établi depuis dix-huit mois, avait fonctionné régulièrement une fois par semaine sans aucune avarie. Il a coûté 3200f. Il consomme un tiers seulement du combustible qu'exigeaient les anciens appareils de mêmes dimensions; le coulage dure 15 heures de moins; il faut 57 journées de laveuses au lieu de 75, 10 kilogr. de savon au lieu de 15, et enfin le linge est plus blanc. Un appareil semblable établi à l'hôpital Saint-Louis, donne exactement les mêmes résultats que celui de Curaudeau dont nous parlerons plus loin.

1683. *Chauffage par circulation.* Une disposition fondée sur ce principe est indiquée figure 2 (pl. 96). La chaudière, de même hauteur que la cuve, est placée à côté; les parties supérieures des deux vases communiquent par un tube garni d'un robinet : il en est de même des parties inférieures. En ouvrant et en fermant alternativement les robinets, on peut faire passer par intermittence dans la cuve du liquide plus chaud. La cuve est exactement fermée et entièrement pleine de liquide. La chaudière est surmontée d'un tube terminé par un vase dans lequel se fait l'expansion du liquide, et qui est garni d'un tube laté-

ral par lequel s'écoulerait le liquide dans le cas où il se formerait de la vapeur. Il serait cependant plus simple de supprimer le tube latéral en ne faisant pas plonger le tube d'expansion dans la chaudière.

1684. On peut aussi chauffer un liquide par la circulation d'un autre, comme on le voit dans la figure 10 (pl. 96). L'appareil se compose de plusieurs cuves garnies de serpentins dont les extrémités communiquent avec la partie supérieure et avec la partie inférieure de la chaudière.

1685. *Blanchissage à la vapeur.* C'est à Chaptal qu'est due la première idée du blanchissage à la vapeur. Depuis, MM. Bosc, Roard, Cadet de Vaux et Curaudeau s'en sont beaucoup occupés. En 1804, ce dernier a publié une instruction sur le lessivage à la vapeur, en 1806 un traité, et enfin en 1809, dans les Annales des arts et manufactures, un mémoire sur le même objet.

L'appareil dont il est question consiste en un cuvier renfermant le linge mouillé de lessive, et placé au-dessus d'une chaudière; la vapeur d'eau, formée dans la chaudière, passe à travers le linge, par des jours qui résultent de nombreuses baguettes de bois placées contre la surface intérieure de la cuve, et par des tuyaux verticaux formés de lattes de bois non jointives, ouverts par le bas, et autour desquels le linge est tassé. La vapeur d'eau pénètre successivement toute la masse, en élève la température, et s'écoule condensée, avec la lessive que le linge contenait; après un certain temps, le linge se trouve presque entièrement dépouillé de lessive. Ce mode d'opération présente les mêmes avantages, sous le rapport de l'économie du temps et du combustible, que celui dans lequel le liquide est sans cesse remonté sur le linge par la pression de la vapeur; il a en outre l'avantage de ne pas faire passer sur le linge de la lessive salie, ou trop chargée d'alcali.

Les figures 3 et 4 (pl. 96) sont, la première, une élévation; la seconde, une coupe verticale de l'appareil Curaudeau.

1686. Les figures 5 et 6 représentent en élévation et en coupe, l'appareil de M. Bourgeron de Layre, qui a la plus grande analogie avec celui de Curaudeau. Nous renvoyons, pour plus de détails, au tome 38 du Bulletin de la Société d'encouragement, qui renferme un rapport très-étendu de M. Herpin, sur les appareils de lessivage.

1687. Nous décrirons plus loin (fig. 6, pl. 97) un autre appareil de

lessivage dans lequel la vapeur est employée pour chauffer la lessive et pour la faire monter dans la cuve.

§ 4. — CHAUFFAGE DES LIQUIDES PAR LA VAPEUR.

1688. Un liquide peut être chauffé au moyen de la vapeur d'eau, par deux procédés différents : 1° par la condensation de la vapeur dans le liquide lui-même ; 2° par la circulation de la vapeur dans un serpentin, ou dans tout autre appareil analogue, plongé dans le liquide.

1689. *Échauffement d'un liquide par la condensation directe de la vapeur.* Ce mode de chauffage n'est évidemment applicable que quand la condensation de la vapeur d'eau ne peut pas nuire à la nature de l'opération ; il est principalement employé pour les cuves de teinture, les cuves à papier, les bains, etc.

1690. Le calcul de la quantité de vapeur à fournir dans un temps donné, des dimensions de la chaudière, des tuyaux à vapeur et de tous les éléments des fourneaux, ne présente aucune difficulté. Supposons, par exemple, qu'il s'agisse d'amener au bouillon dans une heure, et successivement, une série de cuves de teinture, contenant chacune 1000 litres d'eau à 0°. Lorsque l'ébullition sera déterminée, chaque kilogramme de vapeur condensée aura réellement fourni au liquide à chauffer 550 unités de chaleur, puisque l'eau provenant de la condensation reste dans le liquide. Ainsi la quantité de vapeur à fournir par heure sera de $1000 \times 100 : 550 = 181^{k},80$.

1691. Le chauffage par la vapeur présente, dans les teintureries et les papeteries, un très-grand avantage sur le chauffage direct : 1° parce que chaque cuve devant être chauffée séparément, exigeait, par l'ancien système, un foyer à part, au lieu que par le nouveau, un seul suffit pour toutes, quelque nombreuses qu'elles soient ; ce qui produit une très-grande économie de combustible, car la perte de chaleur par les parois des fourneaux est proportionnelle à leur nombre ; 2° parce que l'on n'a point à craindre dans le chauffage par la vapeur, comme dans le chauffage direct, l'altération des matières qui se déposent au fond des chaudières ; 3° parce que l'on peut, avec une très-grande facilité, et par le seul mouvement d'un robinet, commencer, suspendre le chauffage, et maintenir le liquide à une température sensiblement constante ; 4° parce

qu'enfin les cuves peuvent être en bois, et disposées arbitrairement dans toutes les parties de l'atelier.

1692. L'appareil le plus simple pour chauffer un liquide par la vapeur est celui des figures 3 et 4 (pl. 96).

1693. La disposition la plus généralement employée consiste en un tube vertical plongeant au fond de la cuve, ouvert par le bas, et communiquant par sa partie supérieure avec une chaudière à vapeur. Mais pour éviter le bruit que les condensations subites de la vapeur occasionnent par cette disposition, ainsi que les grandes oscillations de l'eau dans le tube, qui dans certaines circonstances pourraient la faire remonter des cuves jusque dans le générateur, on place au fond des cuves un tube en cuivre, différemment contourné suivant la forme des appareils, et dont les parties latérales sont percées d'un grand nombre de petits trous très-capillaires; ce tube communique extérieurement avec un autre qui amène la vapeur du générateur et qui est garni d'un robinet et ordinairement d'une petite soupape à air destinée à s'opposer au mouvement de l'eau de la cuve vers le générateur.

Les figures 1re et 2 (pl. 97) représentent la disposition la plus ordinaire. AA, cuve circulaire. B, tuyau communiquant avec le générateur. C, robinet à clapet, se fermant à l'aide de la manivelle *a*. D, soupape à air. EF, tuyau latéral communiquant avec le tuyau intérieur GG, fermé par le bout, mais percé à sa partie inférieure et un peu de côté, d'un grand nombre de trous capillaires. H, robinet de vidange.

1694. Les figures 3, 4 et 5 (pl. 97) indiquent une disposition analogue appliquée à une cuve rectangulaire, destinée à passer des étoffes à la teinture.

1695. On place à l'extérieur des cuves, le tube qui amène la vapeur dans les tubes de dégagement; d'abord, parce que s'il était placé dans l'intérieur, il embarrasserait pendant les opérations; en second lieu, parce que la vapeur qui se condenserait dans ce tube, réchaufferait plus la partie du liquide environnante que le reste de la masse du liquide, et cette inégalité pourrait avoir des inconvénients dans quelques circonstances. On a remarqué que les trous de sortie de la vapeur grandissaient de près des deux tiers en deux ans; on a essayé de les remplacer par des fentes très-étroites, mais la pression de la vapeur écartait les bords, et les tuyaux étaient promptement hors de

service. Lorsque le liquide renferme des matières en suspension, et c'est ce qui arrive ordinairement pour les bains de teinture, ces matières bouchent elles-mêmes les petits orifices par lesquels la vapeur se dégage, quand la pression dans le tuyau devient plus petite que la pression de l'atmosphère, de sorte qu'elles s'opposent à l'ascension du liquide dans le tuyau à vapeur.

1696. La figure 6 (pl. 97) représente deux chaudières à lessiver les toiles, dans lesquelles la lessive est réchauffée et élevée par l'action de la vapeur. Dans le double fond de chacune des cuves, se trouve un tuyau percé de petits trous communiquant avec une chaudière à vapeur, et un tube central qui s'élève jusqu'au sommet de la cuve où il est terminé par un chapeau. Lorsque la lessive s'est écoulée dans le double fond, on ouvre les robinets à clapets et à vis a, a, et la vapeur arrive dans la lessive, la chauffe et la fait monter; on ferme ensuite les robinets jusqu'à ce que le liquide ait de nouveau traversé les toiles. b, b sont des soupapes à air; c, c, des soupapes par lesquelles on fait écouler la lessive à la fin de l'opération.

1697. *Chauffage des liquides à la vapeur par un contact indirect.* Ce mode de chauffage consiste à faire arriver la vapeur dans un serpentin, ou un appareil équivalent, plongé dans le liquide que l'on veut chauffer, ou dans une enveloppe extérieure. Les appareils sont exactement les mêmes que ceux que nous avons décrits en parlant de l'évaporation par le chauffage à vapeur. La seule différence consiste en ce que les chaudières doivent être presque fermées afin d'éviter l'évaporation et la perte de chaleur qu'elle occasionnerait. Lorsque le liquide doit être amené à une température supérieure à celle de l'ébullition de l'eau, la vapeur doit être employée à une pression supérieure à celle de l'atmosphère. Du reste, tous les calculs que nous avons faits pour l'évaporation sont applicables au simple chauffage; il faut seulement, pour déterminer la quantité de chaleur à fournir dans un temps donné, multiplier la chaleur spécifique du liquide par sa masse, et par l'accroissement de sa température.

§ 5. APPAREILS D'ÉCONOMIE DOMESTIQUE.

1698. Nous nous occuperons d'abord des grands appareils, de ceux qui sont destinés à préparer les aliments d'une grande réunion d'hommes, parce que l'économie du combustible devient alors importante;

ensuite nous indiquerons les petits appareils les plus remarquables.

Préparation du bouillon de viande.

1699. Dans les grands établissements, on a longtemps préparé le bouillon dans de grandes chaudières, et on a cherché à économiser le combustible en plaçant, à la suite les unes des autres, plusieurs chaudières qui étaient chauffées successivement par le courant d'air brûlé sortant du foyer; mais dans les premières, l'ébullition était trop vive, et dans les dernières, la température n'était pas assez élevée. On a imaginé ensuite de préparer le bouillon, au bain-marie d'eau mêlée de sels, pour qu'on puisse en élever la température, et enfin par le chauffage à vapeur. Mais cette question n'a été bien étudiée que depuis l'organisation à Paris d'une compagnie, ayant pour objet la préparation en grand du bouillon destiné à être vendu au détail dans un grand nombre de boutiques spéciales disséminées dans tous les quartiers de Paris. La compagnie Hollandaise, fondée depuis 1829, et qui fabrique maintenant pour sa petite clientèle et pour plusieurs établissements publics, plus de 5,000 litres de bouillon par jour, a employé successivement différents appareils. Nous décrirons sommairement les différentes phases de sa fabrication.

1700. Les conditions à remplir dans la préparation du bouillon, sont : 1° d'élever assez rapidement le liquide à une vive ébullition; 2° de maintenir ensuite le liquide pendant plusieurs heures, 5 à 6, à la température de l'ébullition, mais sans fournir plus de chaleur qu'il ne s'en perd par le refroidissement de la surface du vase qui est exposée à l'air, de manière qu'il ne se forme que peu ou point de vapeurs; 3° d'opérer dans des vases dont le volume ne dépasse pas 50 à 60 litres. La première condition est nécessaire pour coaguler l'albumine du sang, et pour clarifier le bouillon; la durée de l'action de la chaleur est nécessaire pour effectuer la cuisson de la viande; l'absence presque complète de vapeur est indispensable pour obtenir du bouillon ayant l'odeur et la saveur qu'on y recherche; quant à la dernière, elle résulte des expériences nombreuses de M. Copenhal, gérant de la compagnie Hollandaise. On conçoit facilement que s'il avait été possible d'obtenir dans de grands vases, des bouillons de même qualité que ceux qu'on prépare, avec les mêmes éléments, dans des vases d'une petite dimension, les appareils auraient été beaucoup plus simples, d'un prix

beaucoup moins élevé, d'une conduite et d'une surveillance bien plus facile, et ils auraient certainement exigé moins de combustible; ce n'est donc qu'après des essais multipliés que l'on s'est résigné à opérer sur un grand nombre de vases d'une petite dimension. L'expérience a fait connaître que leur volume ne doit pas dépasser 50 à 60 litres. Il est assez difficile d'expliquer l'influence du volume des vases sur la qualité du bouillon; on pourrait rendre compte de l'influence d'un accroissement de hauteur du vase, par un accroissement de température pour que l'ébullition partît du fond, mais pendant la cuisson, les bulles ne naissent qu'à la surface; et on ne voit rien qui puisse rendre compte de l'influence de l'accroissement des dimensions latérales.

1701. A l'origine, la compagnie Hollandaise préparait le bouillon dans 40 caléfacteurs de Lemare, contenant chacun 40 litres de bouillon, et dans des marmites de terre de 20 litres, placées chacune dans un fourneau particulier; tous ces appareils marchaient au charbon de bois. Mais la dépense qu'occasionnait l'emploi d'un combustible aussi cher, et surtout la surveillance qu'exigeaient des foyers si nombreux, engagèrent les gérants à chercher un autre mode d'opération. M. Darcet, consulté, conseilla l'emploi d'un bain-marie d'eau salée, et M. Grouvelle, ingénieur civil, fut chargé de l'exécution.

1702. Les fig. 7, 8, 9 et 10 (pl. 97) représentent l'appareil construit par M. Grouvelle. La fig. 7 est une coupe verticale, suivant la ligne xx' (fig. 9); la fig. 8 une coupe verticale suivant yy' (fig. 9); la fig. 9 une coupe horizontale suivant la ligne zz' (fig. 8); et enfin la fig. 10 représente la coupe d'une des chaudières sur une plus grande échelle. A, chaudière en tôle, servant de bain-marie, reposant sur une maçonnerie en briques et sur des barres de fer; cette chaudière est remplie aux trois quarts d'eau, renfermant du chlorure de potassium, ou du sel marin. B, marmites en fer-blanc, ayant des couvercles en fer-blanc ou en grès; elles plongent dans le bain-marie et portent, par un collet, sur les bords des orifices percés dans le couvercle de la chaudière. C, douille en tôle étamée, soudée contre les bords des orifices du couvercle du bain-marie et plongeant dans l'eau pour empêcher la vapeur de s'échapper. D, chaudière à eau, séparée du bain-marie par une cloison en tôle, et servant à chauffer l'eau destinée aux lavages. F, robinet de la chaudière du bain-marie. G, grille du foyer. H, carneau qui circule autour

de la chaudière et conduit l'air brûlé dans la cheminée en tôle I. K, registre servant à faire passer à volonté l'air brûlé dans le canal qui circule autour de la chaudière, ou directement dans la cheminée quand la température du bain est trop élevée.

Toutes les marmites sont en fer-blanc. Des tringles en fer rond, fixées horizontalement à une certaine hauteur, et sur chacune desquelles court une poulie supportant une moufle, servent à enlever les marmites. Le bain-marie renferme 250 kilog. de chlorure de potassium provenant du raffinage du salpêtre. Un tube, non indiqué dans les figures, est destiné à conduire hors de l'atelier les vapeurs qui se produisent dans le bain-marie, lorsqu'on chauffe trop vivement.

L'emploi du bain-marie pour la préparation du bouillon est très-ancien; on trouve dans le tome 18 du *Bulletin de la Société d'encouragement*, la description d'un fourneau de cuisine employé dans les casernes d'artillerie de Carlsruhe, dans lequel les aliments sont cuits par un bain-marie. L'appareil est destiné à 200 hommes; suivant l'auteur, on ne consomme que 20 livres de bois en 3 heures, pour opérer la cuisson complète des aliments contenus dans les marmites : auparavant, on en consommait huit fois plus; mais les viandes doivent être cuites séparément. Ces marmites ne servaient réellement qu'à cuire les légumes; elles étaient percées de trous à la partie supérieure pour y laisser pénétrer la vapeur du bain.

L'appareil de M. Grouvelle a bien fonctionné, et a présenté une grande économie de combustible. Par l'ancienne fabrication, avec des appareils ayant chacun leur foyer, la dépense en charbon de bois était de 18 à 20 fr. pour 600 à 700 litres de bouillon; tandis que par le nouvel appareil, 120 kilog. de houille, qui coûtent de 5 à 6 fr., suffisaient pour fabriquer 1,200 litres de bouillon.

Ce résultat était très-avantageux comparé à ceux des anciens appareils; mais il laissait encore beaucoup à désirer. En effet, la surface totale de tôle maintenue à 100° et exposée à l'air libre, produit par heure une condensation de $6 \times 19 = 11^{k},4$ de vapeur, et pendant 10 heures de chauffage 114^{k}, qui correspondent à 20^{k} de houille; en outre, le chauffage journalier à 100° des 1200 litres de bouillon équivaut à 120000 unités de chaleur et à $120000 : 6000 = 20^{k}$ de charbon. Ces deux effets réunis représentent 40 kilog. de houille. Ainsi, il y avait

120—40=80 kilog. de houille employés à réchauffer le bain-marie et à former de la vapeur. Cet appareil avait en outre l'inconvénient de chauffer inégalement les deux extrémités de la chaudière, et de ne porter à l'ébullition les marmites les plus éloignées du foyer, que lorsqu'on forçait le feu; mais alors les marmites voisines du foyer bouillaient trop fortement, et on perdait beaucoup de chaleur. Enfin la disposition des tuyaux qui enveloppaient les marmites et plongeaient dans le liquide du bain-marie, ne permettait pas de maintenir une certaine pression dans la chaudière, parce que le liquide du bain serait sorti par les intervalles de ces cylindres et des marmites.

1703. M. Rudler, ingénieur civil, a modifié cet appareil de manière à éviter les inconvénients que nous venons de signaler, et à mieux utiliser le combustible. Les principales modifications ont consisté à établir deux foyers sous la chaudière, à disposer les carneaux de manière à chauffer uniformément les marmites, à fixer les chaudières dans le bain-marie, de manière à pouvoir y établir une petite pression sans que pourtant la vapeur sortît dans l'atelier, et enfin à utiliser la vapeur qui se dégage de la dissolution saline. La pl. 98 renferme tous les détails de cet appareil. Fig. 1, coupe suivant la ligne xx' (fig. 2). Fig. 2, plan de l'appareil dans lequel les carneaux et le foyer sont indiqués en lignes ponctuées. Fig. 3, coupe verticale suivant la ligne yy' (fig. 2). Fig. 4, coupe verticale suivant zz' (fig. 2). Fig. 5 et 6, coupes verticales d'une marmite sur une plus grande échelle. Fig. 7, disposition de l'appareil destiné à condenser la vapeur qui se dégage. Fig. 8, tringles qui servent à enlever les marmites et à les mettre en place. A, chaudière de forme rectangulaire, en tôle de fer, dont l'épaisseur au fond est de $0^m,004$, et sur toutes les autres parties de $0^m,003$ seulement; de fortes armatures, verticales, en fer forgé, et placées dans l'intérieur, s'opposent à la déformation des deux faces horizontales. La chaudière est divisée en trois parties ; celle du milieu X sert à chauffer l'eau pour les lavages ; les deux autres parties renferment de l'eau salée et sont destinées à recevoir les marmites. Les dessus de ces deux dernières parties sont percés, chacun de 10 trous circulaires, dans lesquels on place les marmites. B,B,B, pièces de fonte dont les bords sont boulonnés ou rivés sur les bords des orifices de la chaudière. C,C,C, marmites en fer étamé, auxquelles sont soudés à l'étain des cercles en fer forgé, pour les soutenir sur les pièces B,B,

auxquelles elles sont fixées par des pinces en fer; entre les surfaces en contact on place un anneau en feutre ou en tresse de chanvre, afin de rendre le joint étanche et d'empêcher la vapeur du bain-marie de se dégager dans l'atelier. D,D, soupapes destinées à faire écouler ou à retenir la vapeur qui se forme dans les deux chaudières partielles. E, soupape placée dans un tuyau communiquant avec les chapelles des deux premières; elle est disposée de manière à introduire à volonté, dans l'une des chaudières, ou dans toutes les deux, l'eau provenant de la vapeur condensée dans le serpentin dont nous allons parler. La figure 7 représente deux réservoirs placés au-dessus des chaudières, dont l'un renferme un serpentin en plomb; ce réservoir étant plein d'eau froide, la vapeur qui s'échappe du bain-marie par la soupape E, arrive par le tuyau F dans le serpentin, et s'y condense en grande partie; le reste peut se rendre hors du local par le tuyau central placé dans ce même réservoir. La vapeur condensée tombe dans un autre réservoir placé au-dessous du premier; sur le côté de celui-ci, est placé un niveau d'eau à tube de verre qui indique à quel moment il faut ouvrir le robinet G placé au-dessus de la soupape E, pour laisser rentrer l'eau dans la chaudière. Quand on s'aperçoit que l'eau du réservoir dans lequel circule le serpentin est tellement chaude, qu'elle ne condense plus la vapeur formée dans la chaudière, on ouvre le robinet H, afin de la laisser écouler; on la remplace par de l'eau froide; l'eau qui sort de ce dernier réservoir sert à alimenter la chaudière intermédiaire X. I,I, foyers. J,J et K,K, registres en fonte disposés de telle manière que l'air brûlé en partant des foyers puisse prendre les chemins *abcdef*, ou *abcdghik*, selon que les registres K,K sont ouverts ou fermés. Les figure 5 et 6 représentent une coupe verticale de deux marmites sur une plus grande échelle, et la disposition employée pour les enlever. La figure 8 représente une des tringles fixées au plafond, sur lesquelles roulent des poulies mobiles qui supportent les moufles destinées à suspendre les marmites.

Voici de quelle manière on se sert de cet appareil. On introduit 500 kilog. de chlorure de potassium dans chacune des deux chaudières destinées à recevoir les marmites, et la quantité d'eau nécessaire pour que le niveau, quand les marmites sont en place, s'élève à $0^{m},08$ du couvercle. On remplit la petite chaudière X de manière que l'eau y soit

à peu près au même niveau. Alors on allume le feu, on ferme les registres J,J, afin que la fumée suive le plus court trajet *abcdef* pour se rendre dans la cheminée, et produise un bon tirage. Quand l'eau salée est arrivée à l'ébullition, on place les marmites pleines, et on laisse les registres KK ouverts jusqu'à ce que l'ébullition soit bien établie dans les marmites; on les ferme alors, on ouvre les registres J,J, et on couvre le feu; un léger frémissement se maintient dans les marmites pendant le temps nécessaire à la cuisson de la viande. Au moyen de cet appareil on obtient 2000 litres de bouillon en brûlant moins de 100 kilog. de houille.

Ce mode de chauffage présentait pourtant encore quelques inconvénients; les vases s'altéraient assez promptement, et il s'échappait souvent de la vapeur par les joints des rebords des vases et des douilles sur lesquelles ils reposent. Ce sont ces considérations qui ont engagé l'administration à effectuer le chauffage par la vapeur à haute pression.

1704. Ce nouvel appareil a encore été construit par M. Rudler, et il est représenté dans les fig. 1, 2, 3 et 4 (pl. 99). La première est une coupe suivant *xx'* (fig. 2); la fig. 2, une projection horizontale; la fig. 3, une coupe verticale suivant la ligne brisée *yy'*, et la figure 4 une coupe d'une chaudière sur une plus grande échelle. A, générateur, dont la vapeur s'écoule par les tuyaux BCD et BC'D'. E,E,... marmites en cuivre, étamées intérieurement, au nombre de vingt, formant 2 groupes chacun de 10; elles sont garnies d'un double fond, dans lequel la vapeur pénètre par le tuyau F, et dont l'eau provenant de la vapeur condensée s'écoule par le tuyau G dans la bâche H. Les robinets I et K servent à régler l'admission de la vapeur et l'écoulement de l'eau. Chaque groupe de chaudières est renfermé dans une caisse L, fermée latéralement par des plaques de fonte. M, est un vase qui sert à alimenter les chaudières par intermittence, suivant la méthode indiquée (861). Depuis, l'appareil d'alimentation a été remplacé par une pompe mue par une petite machine à vapeur. La vapeur est constamment maintenue dans la chaudière à 2 atmosphères $\frac{1}{2}$.

Cet appareil est d'un usage très-commode, car il permet de régler à volonté et immédiatement l'activité de l'ébullition dans les chaudières; mais il consomme un peu plus de combustible que le bain-marie, et il est d'un prix beaucoup plus élevé.

Nous avons recueilli sur ces différentes méthodes de fabrication, quelques renseignements que nous croyons utile de rapporter. Par le chauffage à vapeur on écume en 15′, par le chauffage à feu nu dans un temps plus long, par l'emploi du bain-marie dans un temps plus long encore. Les vases de fer-blanc s'altèrent promptement, parce que le bouillon est toujours acide; les vases de cuivre étamés sont bien préférables à ceux de fer-blanc, mais pourtant l'étamage doit être renouvelé assez fréquemment; on donne maintenant la préférence aux vases de fonte étamés. Les dépenses de combustible par le chauffage au bain-marie, à la vapeur et à feu nu, sont dans le rapport des nombres 8, 10 et 11.

1705. La préparation du bouillon sur une assez grande échelle, par exemple pour des casernes, des hôpitaux, doit être faite avec des appareils beaucoup plus simples. On pourrait employer la disposition indiquée par la figure 11 (pl. 97). L'appareil se compose d'un fourneau dont la partie supérieure est recouverte par des plaques de fonte sur lesquelles on place des marmites rectangulaires; la chaleur de la fumée est employée à chauffer de l'eau contenue dans un vase placé au bout du fourneau et dans lequel circule la fumée. Pour régulariser la chaleur transmise dans les marmites, on pourrait placer les marmites du centre sur des feuilles de tôle ou sur des briques minces. On parviendrait aussi à rendre la température de la plaque de fonte sensiblement uniforme, par la méthode que M. Rudler a employée dans les fours à sécher le tabac à fumer (pl. 63); la figure 12 (pl. 97) représente cette disposition.

Fourneaux de cuisine des grands établissements.

1706. Nous décrirons d'abord les appareils les plus remarquables des hôpitaux de Paris; nous nous occuperons ensuite de quelques petits appareils qui par leurs dispositions ou leur effet économique méritent de fixer l'attention; enfin nous examinerons les dispositions les plus convenables dans les différents cas qui peuvent se présenter.

1707. *Fourneau de cuisine de l'hôpital Saint-Louis.* Figure 1re (pl. 100), élévation de l'appareil. Figure 2, plan général en supposant les chaudières enlevées. Figure 3, coupe verticale suivant la ligne xx' (fig. 4). Figure 4, coupe horizontale suivant la ligne yy' (fig. 3). Fig. 1re (pl. 101).

coupe verticale suivant la ligne *zz'* (fig. 2, pl. 100). Figure 2 (pl. 101), coupe horizontale au niveau du sol. Figure 3 (pl. 101), coupe verticale suivant *u u'* (fig. 2, pl. 100).

A, A, plaques de fer placées au-dessus des foyers, sur lesquelles on peut chauffer les petites casseroles et où l'on fait la cuisine particulière. B,B, chaudières circulaires pour la préparation du bouillon; elles sont chauffées par des foyers particuliers dont les portes sont en dehors de la cuisine. C, chaudière à eau chaude, chauffée par les fumées de tous les foyers. D, D, D, chaudières destinées aux différents usages de la cuisine; elles sont chauffées par les foyers A, A. E, tuyau de plomb en communication avec la chaudière C, et conduisant l'eau chaude à toutes les marmites.

Les embranchements de ce tuyau sont garnis des robinets F et des douilles mobiles G; chacun d'eux sert pour deux marmites. H, four en fonte chauffé par le foyer H'. I,I, fours chauffés en dessus par l'air brûlé des foyers K, et servant à maintenir les plats chauds. L, colonne en bois portant une série de becs de gaz et un bec supérieur M environné d'un globe de verre. N, cheminée commune à tous les foyers.

La moitié seulement de l'appareil est en activité, l'autre est destinée au service lorsque la première est en réparation.

L'hôpital Saint-Louis renferme ordinairement 1000 malades; la dépense moyenne, pour le chauffage de la cuisine, est de 0f,1 par malade et par jour.

1708. *Cuisine de l'hôpital de la Charité* (pl. 102). Figure 1re, élévation. Figure 2, projection horizontale en supposant toutes les chaudières enlevées. Figure 3, coupe horizontale suivant la ligne *xx'* (fig. 1re). Figure 4, coupe horizontale au niveau du sol. Figure 5, coupe verticale suivant *yy'* (fig. 2). Figure 6, coupe suivant la ligne *zz'* (fig. 3).

A, foyer. B, plaques de fer chauffées directement pour la cuisine particulière et pour les opérations qui exigent une température élevée. C, chaudières pour différents usages. D, chaudière à eau chaude. E,E',E'', fours en fonte; deux d'entre eux ont leur porte en avant, et le troisième par derrière; ils sont principalement destinés à faire les rôtis. L'air brûlé, en sortant du foyer, peut se rendre dans les espaces G,G', H,H' et K, où se trouvent les marmites C, C, C, C et D, dans tous à la fois, ou seulement dans quelques-uns; on fait passer l'air brûlé dans les espaces G et G' en ouvrant les registres *e*, *e'*; alors l'air brûlé, après avoir circulé librement

autour des chaudières, descend sur les côtés des deux fours E et E', parcourt leurs fonds, et s'écoule par les orifices *m*, *n* dans un canal souterrain qui le mène à la cheminée. Pour faire passer l'air brûlé autour des chaudières logées dans les espaces H et H', il faut ouvrir des registres tournants, non indiqués dans les figures, et qui font sortir la fumée par les orifices *p* et *q*. Enfin, pour que l'air brûlé circule autour de la chaudière à eau chaude D, il faut faire mouvoir les deux registres tournants *f*, *f''*; alors l'air brûlé, après avoir suivi le fond de la chaudière, descend sur les faces latérales du four E'', en parcourt le fond, et s'écoule par l'orifice *r* dans le canal qui se trouve au-dessous du sol.

1709. Les figures 4, 5, 6, 7 et 8 (pl. 101) représentent un fourneau de cuisine employé dans une maison d'accouchement de Paris. Dans cet appareil il y a deux foyers chauffant directement des plaques de fer, comme dans les appareils précédents. De chaque côté du grand foyer se trouvent deux grandes chaudières autour desquelles circule l'air brûlé, qui se rend ensuite sous une chaudière à eau chaude, et de là, par les canaux verticaux *a* et *b*, dans un canal souterrain qui le conduit à la cheminée. De chaque côté du petit foyer, se trouvent deux marmites, dont la fumée parcourt les surfaces avant de s'échapper par les orifices *a* et *b*. L'appareil renferme quatre fours, dont les parties supérieures sont chauffées par l'air brûlé.

1710. La figure 9 (pl. 101) est le plan du fourneau d'une maison de santé du faubourg Saint-Denis. Au delà du foyer A, qui est disposé comme dans les appareils précédents, se trouvent quatre marmites B, C, D, E, destinées à la cuisson des aliments, et une chaudière à eau chaude F. L'air brûlé, au moyen des registres *a*, *a'*, *b*, *b'*, *c*, *c'*, peut passer sous l'une quelconque ou sous toutes les marmites, et les porter à une température plus ou moins élevée. Mais les fonds seuls des marmites sont chauffés.

1711. Les figures 7, 8 et 9 (pl. 102) indiquent la disposition d'un fourneau de cuisine d'une maison de santé du faubourg Saint-Jacques. L'air brûlé, au moyen des différents registres, peut passer à volonté, ou directement sous la chaudière à eau chaude, ou de chaque côté sous une petite marmite peu profonde, puis sous une autre plus profonde, pour circuler ensuite autour de la chaudière à eau chaude. Deux fours sont placés au-dessous des petites chaudières.

1712. Les figures 13, 14 et 15 (pl. 97) représentent un fourneau de cuisine établi par M. Grouvelle à l'École normale primaire de Versailles. La figure 13 est une coupe suivant la ligne brisée $xx'x''x'''$ (fig. 14). La figure 14, une coupe verticale suivant yy' (fig. 15); et la figure 15, une coupe horizontale suivant zz' (fig. 14). A, chaudière en tôle remplie d'eau salée. B, marmites en fer-blanc plongeant dans le bain-marie et servant à faire le bouillon et à cuire les légumes. C, robinet de vidange du bain-marie. D, chaudière en cuivre à eau chaude. E, plaque de fonte placée au-dessus du foyer. F, four à cuire les viandes.

1713. Les figures 10, 11, 12, 13 et 14 (pl. 101) représentent un fourneau de cuisine de caserne construit par M. Ducel, de Lyon. Figure 10, élévation. Fig. 11, projection horizontale. Figure 12, coupe verticale suivant xx' (fig. 11). Figure 13, coupe horizontale suivant yy' (fig. 10). Figure 14, coupe verticale suivant zz' (fig. 11). L'inspection seule des figures suffit pour faire comprendre la marche de l'air chaud autour des marmites.

1714. M. Chauveau a exécuté chez M. Ternaux l'appareil représenté dans les figures 10, 11, 12 et 13 (pl. 102). Cet appareil est composé de quatre fours placés verticalement, dont toutes les surfaces, excepté celles de devant et de derrière, sont chauffées par l'air brûlé; les parois horizontales sont en tôle ou en fonte, mais celle du fond du premier four qui est soumise à l'action de la flamme, est en brique recouverte de tôle. Immédiatement au-dessus du foyer se trouve un bain de sable dans lequel on peut mettre une marmite. A, A, A, A, fours. B, B, B, B, portes en tôle des fours. C, foyer. D,D,D,D, circuit que parcourt l'air brûlé. E, tuyau de sortie de l'air brûlé. F, bain de sable. G, marmite. H, cendrier. I, chaudière à eau chaude.

1715. Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 (pl. 99) représentent un fourneau d'office de l'hôpital Saint-Louis. Figure 5, élévation. Figure 6, coupe longitudinale. Figure 7, projection horizontale. Figure 8, coupe transversale par le milieu du foyer. Figure 9, coupe transversale par le milieu de la dernière marmite. L'air brûlé circule autour des deux premières et seulement sous la troisième. Les intervalles qui se trouvent dans les briques rangées circulairement, a et b (fig. 6), destinées à soutenir les marmites, sont sans utilité; la circulation pourrait être beaucoup mieux disposée.

1716. On a modifié encore ces appareils d'un grand nombre de manières. Dans quelques-uns, les marmites sont placées dans des chau-

dières qui ne renferment que de l'eau, et qui communiquent librement avec l'extérieur par un tuyau ; d'autres fois, les chaudières sont pourvues d'un robinet au moyen duquel on modère l'écoulement de la vapeur et on augmente à volonté la température du bain-marie. Dans les premiers on ne parvient pas à produire dans les marmites une ébullition complète, et on ne peut pas écumer; les derniers présentent beaucoup de danger quand ils ne sont pas pourvus d'une soupape de sûreté, et j'en ai vu qui se trouvaient dans ce cas. Enfin, dans d'autres appareils, qui sont dus à M. Léon Duvoir, toute la masse de maçonnerie dans laquelle se fait la circulation de l'air brûlé et qui environne les marmites, est remplacée par une chaudière à eau chaude.

1717. *Fourneaux des casernes.* Dans les anciens fourneaux, un seul foyer servait à chauffer deux marmites circulaires. La flamme frappait d'abord une plaque de fonte, l'air brûlé se divisait en deux parties, chacune tournait autour d'une marmite, et les deux courants se réunissaient ensuite pour circuler autour d'une chaudière à eau chaude. Par cette disposition, les marmites ne s'échauffaient pas également, et la plaque de fonte placée au-dessus du foyer se détériorait promptement. Ces inconvénients avaient fait donner la préférence aux fourneaux ne renfermant qu'une seule marmite d'une capacité double. En 1832, M. Choumara a introduit dans la forme des marmites et dans la construction du fourneau, des modifications ingénieuses qui ont produit une grande économie de combustible. Les chaudières sont au nombre de deux ou de quatre. Dans le premier cas, elles ont chacune pour section horizontale un demi-cercle, et elles sont réunies par leurs faces planes, mais de manière qu'il y ait entre elles une distance de 0,05. Quand les chaudières sont au nombre de quatre, chacune a pour section un secteur égal à un quart de cercle, et elles sont groupées autour d'une ligne verticale, de manière que la section commune soit un cercle et que les faces planes des chaudières soient écartées les unes des autres à peu près de 0,05. Dans tous les cas, les chaudières se placent sur des croisillons en fer fixés dans le fourneau ; le foyer est au-dessous, et l'air brûlé circule autour du système avant de se rendre sous la chaudière à eau chaude et de là dans la cheminée.

Les marmites ont 40 centimètres de hauteur et une capacité de 72 litres, afin que, sans être complétement remplies, elles puissent servir à la prépa-

ration de 64 kilogr. de soupe, viande et légumes compris, ration d'une compagnie de 64 hommes.

Les marmites reposent sur un bâtis en fer, garni de pattes scellées dans la maçonnerie. Le bâtis est partagé en deux ou en quatre parties égales par une ou deux traverses qui forment les intervalles des chaudières.

Les figures 1, 2, 3 et 4 (pl. 103) représentent un appareil à deux chaudières. Figure 1re, coupes verticales suivant xx' (fig. 2 et 3). Figure 2, coupe horizontale suivant yy' (fig. 1). Figure 4, coupe verticale suivant zz' (fig. 2).

Les figures 5, 6, 7, 8 et 9 appartiennent à un appareil à quatre chaudières. Figure 5, élévation. Figure 6, coupe verticale suivant xx' (fig. 7). Figure 7, coupe horizontale au-dessus de la grille. Figure 8, vue de la partie supérieure. Figure 9, coupe suivant yy' (fig. 7).

On simplifierait beaucoup ces dispositions en supprimant complétement toutes les pièces de fer intérieures qui sont absolument sans aucune utilité, et en ne conservant que le cadre supérieur qui soutient les bords des marmites.

Voici les résultats des expériences faites en 1829. A la caserne du Montblanc, à Paris, dans un fourneau à deux chaudières on a consommé moyennement $5^k,08$ de bois par marmite, fournissant 64 kilogr. de soupe. A la caserne de l'Avé-Maria, pour la même quantité de soupe, la consommation a été seulement de $4^k,85$ de bois, ou de $2^k,67$ de houille. Avec les anciens appareils la consommation de houille s'élevait à 5 kilogr. Dans les fourneaux à quatre chaudières, établis à la caserne de l'Avé-Maria, la consommation de bois a été de 3^k832, et celle de houille de $2^k,208$.

Dans des expériences qui avaient pour objet de déterminer la quantité de chaleur utilisée, on a introduit dans les quatre chaudières d'un fourneau, 224 litres d'eau à 14°; on les a enlevés lorsqu'ils ont été amenés à l'ébullition; alors on les a remplacés par le même volume d'eau froide qui a été chauffée à 38°, et par la braise qui restait dans le foyer et par la chaleur de la maçonnerie. La quantité de chaleur absorbée par l'eau a été de $224 \times (100 - 14) + 224\,(38 - 14) = 24640$. On avait consommé 10 kilogr. de bois, et par conséquent on avait produit dans le foyer $2800 \times 10 = 28000$ unités de chaleur; ainsi l'effet utile a été de $24640 : 28000 = 0,88$.

Dans une autre expérience, faite en employant 7 kilogr. de houille et 3 kilogr. de bois, on a chauffé à l'ébullition 224 kilogr. d'eau, et on a chauffé le même volume d'eau de 11° à 65°. L'effet utile a été de 224 $(100 - 11) + 224\,(65 - 11) = 32032$. Et comme la quantité de chaleur produite était $7 \times 7500 + 3 \times 2800 = 60900$, il s'ensuit que l'effet utile a été seulement de 0,52. La houille employée était probablement de mauvaise qualité ou elle a été mal brûlée, car ce résultat est bien inférieur au premier.

En prenant d'autres nombres pour la puissance calorifique du bois et de la houille, le capitaine Choumara conclut que ses appareils à quatre marmites utilisent les deux tiers de la chaleur produite quand on emploie de la houille, et les trois quarts quand on brûle du bois; que dans les appareils à deux marmites, pour le bois et pour la houille, l'effet utile est seulement 0,6; et que l'économie annuelle qui résulterait de l'emploi de ses appareils dans toutes les casernes de France, s'élèverait à plus de 50,000 francs.

1718. *Fourneau potager d'Harel.* La figure 14 (pl. 102) est une élévation de l'appareil. La figure 15, une coupe verticale de la marmite. La figure 16, une coupe du fourneau en supposant qu'on ait enlevé la marmite. A, porte du cendrier. B, porte du foyer. Ces portes sont de deux espèces : l'une est en terre cuite, l'autre a la forme d'une cafetière ; on se sert de cette dernière pour chauffer de l'eau. CC, espace dans lequel circule la fumée avant de se rendre dans la cheminée D. E, marmite en poterie, recouverte extérieurement et à la partie inférieure d'une feuille de tôle. F, casserole en fer-blanc qui repose sur les bords de la marmite par trois oreilles. G, autre casserole qui se place sur la précédente. H, vase cylindrique en fer-blanc à double enveloppe ; il renferme un diaphragme I au tiers de sa hauteur, et on le ferme par un couvercle K ; ce seau repose sur les bords supérieurs de la marmite et embrasse les casseroles F et G; lorsqu'il est retourné, il n'en embrasse qu'une seule. Voici de quelle manière on emploie l'appareil que nous venons de décrire. Après avoir mis la viande et l'eau dans la marmite, on allume le feu dans le fourneau, et on fait écumer ; on remplit ensuite le fourneau de charbon; on met dans les casseroles F et G les ragoûts qu'on doit préparer, et dans la partie supérieure du vase enveloppant, des pommes de terre ou d'autres légumes et de l'eau ; on ferme les portes du foyer et du cendrier, et on abandonne

l'appareil à lui-même ; après quatre heures, le pot au feu, les ragoûts et les légumes sont cuits. M. Harel a imaginé une foule d'autres petits ustensiles de ménage fort ingénieux, et très-économiques, dont la notice se trouve chez lui (rue de l'Arbre-Sec, 50), mais qui sont moins utiles que son potager.

1719. M. Harel a introduit dans les fourneaux de cuisine une amélioration très-importante et qui devrait être généralement adoptée. On sait que les fourneaux des potagers sont toujours chauffés au charbon de bois, et que les gaz qui proviennent de la combustion se dégagent autour des vases placés sur le fourneau, et se répandent nécessairement dans les cuisines, quand les potagers ne sont pas placés sous un manteau de cheminée. Mais dans le cas contraire il en est encore de même, parce que les cheminées étant très-grandes, et les appels extérieurs insuffisants, il se forme toujours dans la cheminée deux courants opposés, et celui qui est dirigé de haut en bas amène dans la pièce une partie des gaz provenant de la combustion. M. Harel est parvenu à éviter cet inconvénient, en fermant les portes des cendriers et en faisant communiquer chaque fourneau par un orifice latéral (fig. 17, pl. 102) avec une cheminée en tôle ; par cette disposition, l'air qui alimente la combustion arrive sur le combustible par la partie supérieure du fourneau, et les produits de la combustion s'échappent par l'orifice latéral.

1720. *Caléfacteur de Lemare.* Cet appareil est représenté en élévation, fig. 1, et en coupe verticale, fig. 2 (pl. 104). Il est composé d'un vase cylindrique ABCD, soudé à un autre semblable A'B'C'D' concentrique, qui l'enveloppe de toute part. Au fond du vase à double enveloppe se trouve une ouverture E, fermée par un registre *m*. L'espace compris entre les deux enveloppes a trois ouvertures : l'une F, située à la partie supérieure, est destinée à introduire l'eau que cette capacité doit contenir ; une autre G, située à la partie inférieure, est garnie d'un robinet ; enfin la dernière H, est destinée à faire écouler la vapeur par un tuyau IK qu'on y adapte, lorsque l'on couvre l'appareil d'une enveloppe ouatée, ou quand on utilise la vapeur. Le vase dont nous venons de parler et qui forme le corps du fourneau, reçoit à la partie supérieure un vase concentrique M, d'un diamètre plus petit de $0^m,009$, d'une moindre hauteur, et soutenu par des rebords qui s'appuient sur ceux du vase enveloppant. L'espace qui se trouve libre au-dessous du vase M, forme le

foyer; on y place un disque en tôle à rebords, dont le fond percé d'un grand nombre de trous, est soutenu par 3 petits pieds à $0^{m},006$ du fond du vase double. N est un vase en fer-blanc fermé par un couvercle du même métal et qu'on place sur le premier. Pour se servir de cet appareil, on commence par mettre l'eau et la viande dans le vase M, on allume le feu, et on met ce vase en place, de manière que ses bords ne s'appliquent pas exactement sur ceux de l'enveloppe, afin que l'air brûlé puisse se dégager; pour cela on a ménagé sur les rebords du vase trois petites saillies qui le maintiennent soulevé quand ils ne sont pas en regard de trois petites entailles correspondantes pratiquées sur les bords de l'enveloppe. Aussitôt que l'ébullition se manifeste, on écume; alors on tourne la marmite de manière que les saillies dont nous avons parlé entrent dans les échancrures des bords du vase; on place le vase N qui doit contenir les légumes; on ferme le registre *m*, et on couvre l'appareil de l'enveloppe ouatée PQ. Après six heures, la viande et les légumes sont cuits. On peut remplacer le vase M par deux autres demi-circulaires de même hauteur, dont l'un sert pour le pot au feu, l'autre pour faire un bœuf à la mode ou d'autres mets analogues. Pour faire des rôtis, on remplace le vase M par un four de campagne, et on met le vase M dans un autre, placé à côté, où il est chauffé par la vapeur qui s'échappe par le tuyau IK. Dans cet appareil, la chaleur nécessaire est produite par une faible combustion, alimentée par une petite quantité d'air qui passe à travers les fissures du registre *m*, et qui s'échappe par les orifices très-étroits qui restent autour des rebords de la marmite M.

Cet appareil est très-économique, car il utilise presque toute la chaleur développée par le combustible. Dans une expérience faite par M. Thénard, on a versé $13^{k},5$ d'eau à 22° dans le vase extérieur, et $15^{k},5$ à la même température dans le vase intérieur. En $3^{h}\frac{1}{2}$ on a brûlé 918 grammes de charbon. Le vase intérieur ne renfermait plus que $13^{k},69$ d'eau, et le vase extérieur 9, par conséquent on avait vaporisé $6^{k},31$ d'eau. L'effet utile a donc été de $6,31 \times 620 = 3912$, plus $22,69 \times 78 = 1769$, ou 5681 unités; et les 918 grammes de charbon brûlé ont développé $0,918 \times 7000 = 6426$ unités; ainsi l'appareil utilise $5681:6426 = 0,88$ de la chaleur produite. Pour un pot-au-feu de 3^{k} de viande et de $4^{k},5$ d'eau, on consomme 280 grammes de charbon, dont le prix à Paris est de $0^{f},05$, la voie de 55^{k} coûtant 10 francs.

Le caléfacteur de Lemare est très-répandu, parce qu'il est très-économique et qu'il n'exige aucun soin; mais il est sujet à des accidents, car ce n'est que par des tâtonnements qu'on parvient à régler la combustion pendant la cuisson.

1721. En 1820, Lemare avait livré au commerce un grand nombre d'appareils de ménage sous le nom d'*autoclaves*, destinés à cuire les viandes à une température élevée, et par conséquent sous une grande pression. Ces appareils étaient des marmites en cuivre, dont l'orifice rétréci et elliptique était fermé par un couvercle ovale dont les axes avaient de plus grands diamètres que ceux de l'orifice; la pression de la vapeur pressait le couvercle contre les bords de l'orifice, et la fermeture était d'autant plus étanche que la pression était plus forte. C'était le mode de fermeture qui a été employé plus tard pour les trous-d'homme et les bouilleurs des chaudières à vapeur. Les autoclaves étaient garnis d'une soupape de sûreté. Au moyen de ces appareils, on préparait un pot-au-feu dans un temps très-court; cet avantage les répandit promptement, mais plusieurs accidents fâcheux les firent abandonner.

Lemare a inventé d'autres appareils plus ou moins ingénieux, dont la liste et la description détaillée se trouvent à son magasin, quai Conti, n° 3.

Nous citerons seulement son caléfacteur appliqué au chauffage des bains. C'est un vase en cuivre fermé par le bas; il est garni à sa partie inférieure d'un tube latéral extérieur, communiquant avec une cheminée, et à la partie supérieure d'un vase à deux enveloppes concentriques, d'une plus petite hauteur, dont l'intérieur est destiné à recevoir le linge qui doit être chauffé. On met le charbon dans la partie inférieure du vase extérieur, et on place l'appareil dans la baignoire où il est retenu par deux tringles transversales.

1722. *Appareil culinaire de Sorel.* La fig. 3 (pl. 104) est une coupe verticale et longitudinale de l'appareil muni de toutes ses pièces; la fig. 4, le plan; la fig. 5, une coupe verticale suivant la ligne CD du plan; et la fig. 6, l'élévation par le bout. A, fourneau; il est placé dans l'intérieur de la marmite B; un diaphragme *a*, percé de trous, qui entre à coulisse dans la marmite, empêche le contact de la viande et des légumes avec les parois du fourneau. C, première casserole placée au-dessus de la marmite; on y met des légumes qui sont cuits par la vapeur du bouillon, qui passe à

travers le tuyau *b*. D, seconde casserole qui surmonte la précédente et dans laquelle pénètre la vapeur de la casserole C, en traversant le tuyau *c*. E, rôtissoire montée au-dessus du fourneau; elle reçoit directement l'action du feu; l'air chaud qui s'échappe du combustible placé sur la grille *d*, passe dans la capacité *e*, et pénètre dans l'intérieur de la rôtissoire par le conduit *f*, pour s'échapper ensuite par une fente *g*, percée dans le couvercle. Cette circulation est indiquée par des flèches. Le régulateur du feu, comme l'appelle M. Sorel, se compose d'une cloche F, plongée dans le bouillon; elle est fermée au-dessus, ouverte inférieurement et munie d'un tuyau G, qui enveloppe le tube H, destiné à conduire l'air extérieur dans le fourneau. Ce tube, fermé en dessus, débouche au-dessous de la grille qui reçoit le combustible; sa partie supérieure est percée de petits trous *h*, par lesquels pénètre l'air, dont la marche est indiquée par les flèches. La vapeur qui se forme sous la cloche par l'effet de l'ébullition, en chasse d'abord l'air, qui s'échappe par le tuyau *i*, qu'on ferme ensuite avec un bouchon. Elle soulève alors la cloche, ainsi que le tuyau G, qui, couvrant en partie les orifices *h*, rétrécit le passage de l'air. Cette position est indiquée par les lignes ponctuées fig. 6. A ce moment, le feu se ralentit, l'ébullition cesse, et la pression de la vapeur sous la cloche diminue; celle-ci descend lentement, et le tuyau G, découvrant les orifices *h*, permet à une nouvelle quantité d'air de pénétrer dans le foyer pour activer la combustion. Par le jeu non interrompu du régulateur, l'ébullition se maintient d'elle-même constamment au même point.

La fig. 7 est une coupe verticale d'un appareil de Sorel, très-simple, dans lequel il est plus facile de voir le mode d'action du régulateur. Cet appareil se compose, d'un vase enveloppant A, formé de deux vases concentriques dont l'intervalle est rempli de charbon pilé, d'un vase B à doubles parois, garni extérieurement de petits appendices, qui s'appuient sur la partie supérieure de l'enveloppe A; il est fermé par un autre vase C garni d'un couvercle. L'espace D est plein d'eau et communique avec un vase d'expansion E. Le flotteur F, par l'intermédiaire d'une chaîne, ferme le registre G de l'orifice d'accès de l'air dans le foyer, quand les liquides des vases B et D sont en ébullition.

Dans une expérience faite à la Société d'encouragement, on a placé dans l'appareil décrit d'abord, 2^k de bœuf avec 6^k d'eau, $1^k,312$ de veau à rôtir.

0^k,500 de haricots secs, et 0^k,500 de pruneaux. Le charbon introduit dans le foyer pesait 0^k,612. L'expérience a duré 5 heures 40 min. Pendant cet intervalle, le régulateur a fonctionné de manière à entretenir le bouillon à une légère ébullition. A la fin de l'opération on s'est assuré que le bouillon ne laissait rien à désirer, et que les viandes, les légumes et les pruneaux étaient parfaitement cuits. Le charbon non consommé qui restait dans le foyer, pesait 250 grammes; ainsi la consommation a été seulement de 372 grammes. La voie de charbon de l'Yonne, pesant environ 55^k et coûtant 10 francs, 1^k de charbon revient à 0^f,18, et par conséquent la valeur du combustible consommé était de 7 centimes. Des expériences faites individuellement par chacun des membres du comité des arts économiques de la Société d'encouragement, ont donné les mêmes résultats.

1723. M. Sorel a employé le même principe pour maintenir un liquide à une température constante. Les fig. 8 et 9 (pl. 104) représentent les dispositions de l'appareil. H, récipient d'une forme ovale contenant l'eau chauffée par le réservoir intérieur I, également plein d'eau, dans lequel baigne un cylindre J, qui transmet la chaleur à l'eau. Ce cylindre renferme un foyer K, dont les parois inférieures sont percées de trous et qu'on emplit de charbon de bois, qui repose sur la grille K'. L, cendrier garni à sa circonférence d'orifices pour l'admission de l'air nécessaire à la combustion. L', cloche ou régulateur plongeant dans l'eau du réservoir I, et surmonté d'un tuyau M, qui monte et descend le long du tuyau N, servant à conduire l'air dans le cendrier. La partie supérieure de ce tuyau est percée de plusieurs rangées de trous *m*, que le tuyau M couvre et découvre par l'effet de la dilatation ou de la contraction de l'air dilaté qui se trouve sous la cloche, et des variations de force élastique de la vapeur. Le tuyau N est fermé par un bouchon *n*. O, petit tuyau fermé aussi par un bouchon; ce tuyau est soudé à la cloche L' et permet de faire échapper au commencement du chauffage une partie de l'air contenu dans la partie supérieure de la cloche. P, bouchon qu'on enlève pour remplir d'eau le récipient I. Q, couvercle du foyer K qu'on enlève pour charger le fourneau de charbon. R, tuyau par lequel s'échappe l'air brûlé. Cet appareil a été employé au chauffage d'un couvoir artificiel par circulation, à la méthode de Bonnemain (1626). S était le tuyau de sortie de l'eau; T,

le tuyau de retour. Sous tous les rapports cet appareil est préférable à celui de Bonnemain; mais il a été mal employé, car ce n'est pas l'eau au départ de la circulation, qui doit être maintenue à une température constante, mais l'air du couvoir; par conséquent le régulateur devait se trouver dans le couvoir, et non dans le fourneau.

1724. L'appareil représenté dans les figures 10 à 13 (pl. 104), qui est une modification du précédent, a été employé par M. Becquerel dans ses recherches sur la chaleur animale; il maintient le liquide qu'il renferme à une température qui, pendant un temps très-long, ne varie pas de $\frac{1}{10}$ de degré. Fig. 10, section longitudinale et verticale suivant la ligne GH (fig. 11). Figure 11, coupe horizontale suivant IK (fig. 10). Fig. 12, section verticale suivant la ligne LM (fig. 11). Fig. 13, cheminée dont le fond est percé de trous. *a*, récipient carré rempli d'eau, enveloppant un cylindre *b*, dans lequel entre le fourneau *c*, chargé de charbon qui repose sur la grille *d*. Le combustible est tassé à l'aide d'un tuyau conique *e*, qui laisse échapper l'air brûlé; ce tuyau est muni d'une anse *f*, au moyen de laquelle on l'enlève facilement. *g*, récipient du régulateur, plein d'eau, et dans lequel plonge une cloche *hi*, dont le tuyau *k* monte et descend le long du tube *l*, servant à l'introduction de l'air sous la grille *d*; cet effet est produit par les variations de tension, du mélange d'air et de vapeur contenu dans la cloche. La partie supérieure du tube *l* est percée de trous *m*, que le tuyau *k* couvre et découvre en diminuant ou en augmentant le tirage du fourneau. *n*, chapeau fermant le tube *l*. *o*, petit tuyau fixé sur la cloche et destiné à régler la quantité d'air qu'elle doit renfermer. *p*, troisième récipient plus grand que le précédent et faisant corps avec lui; il est rempli d'eau dans l'espace qui le sépare de la boîte *q*, dans laquelle on place les objets soumis à l'action de la chaleur. Au-dessous de cette boîte se trouve une caisse *r* dont le couvercle est percé de deux trous par lesquels on introduit des thermomètres. *s*, tuyau coudé faisant passer l'eau du récipient *a* dans le récipient *g*, qui communique librement avec le récipient *p*, en dessus et en dessous. *t*, petite soupape placée sur le sommet de la cloche *i*, qui, lorsque cette cloche s'élève, bouche le tuyau *s* et interdit à l'eau le passage du récipient *a* dans le récipient *g*. *u*, couvercle de la boîte *q*. *v*, tuyau de communication entre les récipients *a* et *g*. *x*, petite lampe qu'on peut placer dans le fourneau à la place du charbon.

1725. *Siphon thermostatique de M. Sorel.* Cet appareil a pour objet d'établir l'équilibre de température entre des liquides renfermés dans des vases séparés, ou, ce qui revient au même, d'échauffer des liquides contenus dans plusieurs vases, en appliquant la chaleur à un seul. Jusqu'ici on n'avait résolu ce problème qu'en établissant entre les vases des communications par les parties supérieures et les parties inférieures. M. Sorel est parvenu au même but à l'aide de deux siphons mobiles. Le siphon thermostatique de M. Sorel se compose de deux siphons ordinaires, solidaires, qui s'amorcent simultanément au moyen d'un réservoir plein d'eau ayant la forme et la disposition du réservoir d'huile dans les lampes à niveau constant et à réservoir latéral; ce réservoir se place à la partie supérieure d'un des siphons, se vide aussitôt qu'il est en place, et se remplissant de l'air qui se trouvait primitivement dans les deux siphons, détermine leur amorcement. Ces deux siphons plongent de quantités inégales dans le vase plein d'eau chaude et dans celui qui est plein d'eau froide; il résulte de cette inégalité, que celui qui plonge le moins dans l'eau chaude amène l'eau chaude du premier vase dans le second, et que l'autre porte l'eau froide du dernier vase dans le premier. En effet, considérons un siphon plein d'eau chaude plongeant d'un côté dans un vase plein d'eau chaude et de l'autre dans un vase plein d'eau froide; quand l'équilibre sera établi, les niveaux des liquides ne seront pas dans le même plan, attendu que la partie de la branche du siphon qui plonge dans l'eau froide, étant pleine d'eau chaude, est pressée par le liquide environnant avec une force plus grande que son poids, et qu'il en résulte alors une pression qui diminue le poids de la colonne d'eau chaude, et par conséquent l'équilibre ne pourra exister qu'autant que cette colonne d'eau chaude sera plus grande que celle qui correspond au vase d'eau chaude. Mais cette différence de niveau étant proportionnelle à la longueur de la branche du siphon qui plonge dans le vase d'eau froide, si on avait deux siphons plongeant de quantités inégales dans ce dernier vase, l'équilibre ne pourrait jamais subsister; car si la différence des niveaux est plus grande ou plus petite que celle qui correspond à chacun des siphons, ils fonctionneront tous deux dans le même sens, et si cette différence est comprise entre ces deux limites, ils fonctionneront en sens contraire. Dans l'appareil de M. Sorel, le jeu des siphons est favorisé par un tube plein d'air, qui

environne la branche du siphon plongée dans l'eau chaude, qui porte l'eau froide dans le vase directement échauffé. Cette couche d'air empêchant l'échauffement de l'eau froide dans cette partie du siphon, augmente évidemment la vitesse d'écoulement dans ce siphon, et par suite dans l'autre.

1726. La fig. 14 (pl. 104) représente l'appareil de M. Sorel, appliqué au chauffage d'un bain. AA, fourneau-chaudière formé de deux cylindres concentriques placés verticalement; l'espace BB compris entre eux, forme l'intérieur de la chaudière; le petit cylindre C compose le fourneau. D, est un cylindre mobile en tôle fermé par le bas et descendant près du foyer, il est concentrique avec le cylindre C; l'espace compris entre eux est parcouru par les gaz qui proviennent de la combustion, et qui s'échappent par le tuyau E. Le vase F en fer-blanc sert à chauffer le linge; une couche de sable G isole ce vase du foyer. H est la grille sur laquelle on place le combustible. N est une baignoire dont l'eau est chauffée par la double circulation produite par les deux siphons, qui ne cesse que quand l'équilibre de température est établi. On peut arrêter la circulation à une époque quelconque en fermant un des orifices d'un des siphons. Cet appareil est certainement le plus commode de tous ceux qu'on a imaginés pour le chauffage des bains.

1727. On a construit aussi des appareils culinaires dans lesquels la chaleur est produite par une lampe à double courant d'air. Ils consistent, fig. 15 (pl. 104), en un vase annulaire à double enveloppe, rempli de charbon pilé. L'enveloppe intérieure, qui est cylindrique, reçoit par la partie inférieure la cheminée de la lampe, et par la partie supérieure les vases qui doivent être échauffés, et autour desquels l'air brûlé s'écoule en lames minces. Ces appareils sont bien disposés, d'un service assez commode, mais moins économiques que ceux de Sorel, parce que l'huile coûte beaucoup plus cher que le charbon; en outre, ils ne se règlent pas d'eux-mêmes.

1728. *Chauffage des fours à cuire le pain.* Dans toutes les boulangeries, à un très-petit nombre d'exceptions près, on suit encore l'ancienne méthode pour la cuisson du pain. Les fours n'ont d'autre issue que la bouche par laquelle on enfourne, et on les chauffe en brûlant dans l'intérieur du bois léger sec et refendu. Par ce mode de chauffage, la combustion est très-imparfaite, parce qu'il doit se produire dans le four deux

courants opposés, l'un d'air extérieur de dehors en dedans, l'autre d'air brûlé dirigé en sens contraire. En outre, ce mode de chauffage est peu économique, parce que l'air chaud s'échappe, surtout à la fin de l'opération, à une température très-élevée. Les boulangers sont cependant indemnisés d'une partie de la dépense du combustible, par la vente de la braise qu'ils retirent du four. La première modification assez importante qui ait été faite dans la construction et le mode de chauffage des fours, est représentée dans les fig. 16, 17 et 18 (pl. 104). La voûte est traversée par trois tuyaux en fonte qui s'ouvrent au fond du four et viennent déboucher dans la cheminée qui se trouve en avant; par cette disposition, on obtient une meilleure combustion et plus d'économie dans le chauffage. On a fait jusqu'ici d'inutiles essais pour chauffer les fours à la houille; on n'a pas obtenu assez d'uniformité dans la température des différentes parties du four. Les foyers avaient été établis en avant de chaque côté de la porte, et l'air brûlé s'échappait par le fond du four. Je regarde comme très-probable qu'on réussirait complétement en employant la triple circulation dont M. Rudler s'est servi pour chauffer les fours à sécher le tabac (pl. 63), et en faisant revenir l'air brûlé au-dessus de la voûte. Mais le problème du chauffage économique des fours de boulangers a été résolu d'une manière complète par MM. Jametel et Lemare; ces fours existent dans la belle boulangerie de M. Mouchot à Montrouge, établissement qui sous tous les rapports peut être considéré comme modèle (Voyez le tome 36 du *Bulletin de la Société d'encouragement*). Nous extrairons des mémoires consignés dans cet ouvrage la description du four, la seule chose qui soit en rapport avec l'objet qui nous occupe.

1729. *Le four aérotherme* de MM. Lemare et Jametel est représenté dans les fig. 19 à 25 (pl. 104). La fig. 19 est une coupe horizontale faite au niveau du sol suivant xx' (fig. 25). Les figures 20, 21 et 22 sont des coupes horizontales faites suivant les lignes yy', zz', tt' (fig. 25). La figure 23 est une élévation de la face antérieure du four. La fig. 24, une coupe verticale suivant la ligne mm', fig. 19. La fig. 25 est une coupe verticale suivant la ligne nn'.

A, foyer fermé par une porte en fonte. C,C,C,C, galeries ou réservoirs d'air chaud qui environnent le foyer. D,D,D,D, carneaux pour la circulation de la fumée. E, cheminée pratiquée dans l'épaisseur du mur. F,

tuyau servant à conduire directement l'air chaud du réservoir dans le four; il prend naissance à la partie supérieure des galeries C, et s'élève jusqu'à la retombée de la voûte du four. G, tuyau de retour de l'air refroidi du four dans le réservoir; il part du niveau du sol du four et se prolonge jusqu'au bas du réservoir d'air chaud. H;H, tuyaux conduisant l'air chaud du réservoir dans les carneaux d'air R; ils prennent naissance au point le plus élevé de la galerie et aboutissent au niveau du sol inférieur du carneau d'air; ces tuyaux sont munis de registres glissants qu'on fait mouvoir à l'aide des tringles qui y sont fixées. I,I, tuyaux conduisant l'air de ce carneau dans le four; ils partent de la partie supérieure du carneau et s'élèvent jusqu'à la retombée de la voûte du four. K,K, portes du four. L, réservoir d'eau chaude établi au-dessus du four. M, robinet de la chaudière. N,N, trappes servant à faire entrer l'air froid dans le carneau d'air pour refroidir l'âtre; cet air passe dans un canal pratiqué sous le cendrier qui communique avec les galeries C. O, hotte établie au-dessus des bouches du four pour emporter la buée qui s'échappe lors de l'enfournement. R, carneaux d'air. S, four. T, cendrier. *a,b*, portes en fonte à l'entrée du foyer. *c,c*, piliers des galeries du réservoir C. *d*, tiges des registres du tuyau F. *e*, tige du registre G. *f,f*, tiges des registres des tuyaux H,H. *g,g*, tiges des registres des tuyaux I,I. Voici de quelle manière fonctionne cet appareil : l'air brûlé sorti du foyer parcourt les carneaux D,D,D,D, et s'échappe ensuite par la cheminée E. L'air extérieur s'introduit par les orifices N,N dans les galeries C,C, et après avoir circulé autour des parois du foyer, une partie s'élève par les tuyaux H,H, dans les conduits R,R placés sous l'âtre et au-dessus des carneaux à fumée D, et se rend ensuite dans le four par les orifices I,I. En même temps une autre partie de l'air échauffé dans les galeries C,C, s'élève directement dans le four par le tuyau F. Lorsque le four a acquis une température de 200 à 220°, on enfourne; pendant l'opération, les gaz refroidis descendent par le tuyau G dans les galeries C, C, et sont remplacés par de l'air plus fortement échauffé.

Dans les premiers fourneaux qui ont été construits, les foyers étaient sans grille, comme dans la fig. 26; et on reconnut avec surprise que la combustion continuait quoique les portes du foyer et du cendrier fussent fermées hermétiquement et tous les joints garnis d'argile. Lemare pensait d'après cela que la combustion pouvait avoir lieu sans air; mais il

se produisait dans la cheminée deux courants en sens contraire, dont l'un amenait de l'air neuf sur le combustible. Depuis on a employé des grilles; mais récemment on est revenu à la première disposition des foyers, parce que la combustion est beaucoup plus lente. Les deux courants dans la cheminée se reconnaissent très-facilement, car tous les deux ont une grande vitesse; il est cependant bien singulier qu'ils restent distincts dans les carneaux contournés (fig. 20) qui se trouvent au-dessus du foyer.

La *Revue scientifique* (mars 1842) renferme un article de M. Saigey, sur les fours dont il est question, et dans lequel ce physicien a cherché à déterminer la quantité relative de chaleur utilisée. Voici les données du calcul :

Quantité de farine employée		157^k
Eau de pétrissage		79
Pâte		236
Température de la cuisson	300°	
Température du pain à la sortie	100°	
Coke brûlé pendant l'opération		$22^k,25$

Le four étant maintenu à une température sensiblement constante, l'effet utile se compose 1° de la chaleur employée à la vaporisation de 32 kilog. d'eau, qui représente $650 \times 32 = 20800$ unités; 2° de la chaleur employée à chauffer à 100° les 47 kilog. d'eau qui restent dans le pain, ce qui correspond à $47 \times 70 = 3290$; 3° de la chaleur employée à échauffer 157 kilog. de farine de 30° à 100: en admettant que la chaleur spécifique de cette matière soit comme celle du bois et de la gomme, la moitié de celle de l'eau, cet effet représente $157 \times 70:2 = 5495$. En réunissant ces trois effets partiels, on trouve 29585 unités, tandis que la combustion du coke brûlé a produit $22,25 \times 7000 = 155750$. Ainsi l'effet utile est seulement égal à 0,18, de la chaleur produite dans le foyer. Mais malgré ce faible résultat, le four utilise la chaleur aussi bien qu'on puisse l'espérer, car il y a toujours, par la transmission à travers la maçonnerie et par les surfaces extérieures des pertes de chaleur très-grandes et qui sont inévitables.

1730. *Observations sur les différents appareils employés dans la confection des aliments.* Pour la préparation en grand du bouillon destiné à

être livré à la consommation, dans des établissements analogues à celui de la Compagnie hollandaise, il faudrait s'en rapporter complétement aux résultats obtenus dans les nombreux essais faits par cette Compagnie, et préférer les appareils à vapeur aux autres. On pourrait aussi employer les bains de liquide, bouillant à des températures élevées, et placer dans les chaudières des régulateurs de Sorel pour obtenir une température constante dans le bain. Pour des établissements moins considérables qui n'opéreraient qu'avec un petit nombre de marmites, il n'y aurait pas un grand inconvénient à avoir autant de foyers que de marmites. Les appareils les plus simples et les plus commodes, consisteraient en marmites de fonte étamée placées dans des fourneaux en briques, garnis de foyers à coke ou à charbons durs, et pourvus chacun d'un régulateur de Sorel.

Pour les grandes cuisines d'hôpitaux, et en général pour les grands établissements publics, les appareils doivent être appropriés aux besoins du service; aucun de ceux que nous avons décrits ne pourrait être employé sans modifications; et même aucun appareil, quelque bien disposé qu'il fût, ne conviendrait à plusieurs établissements que dans des circonstances tout à fait identiques.

1731. En général on peut diviser en trois classes les différentes parties de l'appareil le plus complet : 1° la partie où l'on prépare la cuisine particulière et accidentelle et les mets qui exigent une température élevée; elle se compose des plaques de fer qui sont placées immédiatement au-dessus du foyer; 2° les marmites destinées à la préparation du bouillon, des soupes, et à la cuisson des légumes et des ragoûts; 3° les fours à faire les rôtis, et qui remplacent les fours de campagne; 4° la chaudière à eau chaude; 5° les fours qui doivent maintenir les plats chauds.

1732. Les plaques qui sont placées au-dessus du foyer, sont indispensables toutes les fois que le fourneau doit servir à tous les usages qui peuvent se présenter. On a reconnu par une longue expérience que ces plaques devaient être en fer, parce que les plaques de fonte se voilent et cassent fréquemment. On emploie de préférence des bandes de fer de $0^m,005$ d'épaisseur, et de $0^m,1$ de largeur; il reste toujours entre elles des jours, mais ils ne laissent point dégager de fumée, parce que l'air extérieur est toujours appelé dans l'intérieur du fourneau. Il est important que ces plaques soient toujours couvertes; car lorsqu'elles sont

libres, elles occasionnent une grande perte de chaleur par leur rayonnement. En supposant ces plaques seulement à 300°, la perte de chaleur correspondrait au moins, par heure, et par mètre carré, à la chaleur produite par la combustion de 1 kilog. de houille.

1733. Les chaudières destinées à contenir des liquides dont la température ne doit pas dépasser 100°, sont placées au delà du foyer. Il est important qu'elles ne soient pas chauffées successivement par le courant d'air brûlé, parce qu'elles le seraient inégalement, et que l'une d'elles n'aurait la température convenable qu'autant que celle des autres serait trop haute ou trop basse. Elles peuvent être chauffées simultanément par un bain-marie salé et ouvert, ou à eau pure, mais fermé et sous une certaine pression. Elles peuvent aussi être chauffées simultanément par de l'air brûlé pris au delà du foyer, qui, après avoir parcouru le fond des chaudières et leur contour, passerait dans un canal qui le conduirait dans le réservoir d'air brûlé qui se trouve au-dessous de la chaudière à eau chaude.

Les bains-marie salés, dont la température de l'ébullition s'élèverait à 105° ou 106°, devraient être préférés aux bains fermés, qui exigent une certaine pression, des soupapes de sûreté, des niveaux d'eau, etc., et une certaine surveillance. La dissolution la plus convenable serait celle qui renfermerait du chlorure de calcium ou du sous-carbonate de soude ou de potasse ; elle devrait être assez concentrée pour qu'il ne fût jamais nécessaire de la porter à l'ébullition. Les marmites devraient être en fer ou en cuivre étamé seulement à l'intérieur. Le fourneau devrait être disposé de manière que tout l'air brûlé ne passât pas nécessairement au-dessous et autour de la chaudière, afin qu'on pût régler sa température, quelle que fût d'ailleurs la quantité de chaleur qu'exigeraient les autres services. Ainsi, si la chaudière occupait toute la largeur du fourneau, il devrait y avoir au delà du foyer un carneau descendant pour conduire l'air brûlé sous les autres appareils sans le faire passer en totalité sous le bain-marie; des registres convenablement placés permettraient facilement de répartir, suivant les besoins des différents services, l'air brûlé sortant du foyer.

Les marmites peuvent être chauffées aussi uniformément par des courants d'air brûlé qui parcourent leurs surfaces, que par des bains-marie ou par la vapeur, pourvu que le fourneau soit construit de ma-

nière que l'on puisse facilement régler les courants à l'aide de registres; seulement, il faut un peu de surveillance pour maintenir les marmites à la température convenable et toujours pleines jusqu'à la partie supérieure des carneaux qui les environnent; ainsi, les carneaux doivent avoir une hauteur moindre que celle des marmites.

1734. Les marmites destinées aux ragoûts, sont ordinairement peu profondes; elles peuvent être placées à la suite de celles dont nous venons de parler; mais elles doivent aussi avoir des prises distinctes d'air chaud, et ne pas être chauffées successivement par le même courant.

1735. Les fours à rôtir sont toujours des caisses en fonte ou en tôle, ouvertes seulement sur une des faces latérales où elles sont garnies d'une porte, et autour desquelles on fait passer un courant d'air chaud. Ces fours peuvent facilement être placés au-dessous des marmites à ragoûts; et comme toutes les autres pièces du fourneau, ils doivent avoir des prises d'air chaud distinctes. Il est très-important de laisser au fond des fours et à la partie supérieure, de petits orifices s'ouvrant dans les carneaux, et une petite ouverture dans la porte pouvant se fermer à volonté, afin de faire dégager dans les carneaux les vapeurs qui se produisent pendant la cuisson des viandes.

1736. La chaudière à eau chaude, chauffée par l'air brûlé qui a parcouru les différents appareils de chauffage dont nous venons de parler, doit être placée à l'extrémité du fourneau; l'air brûlé circulera d'abord sur son fond, et ensuite autour de sa surface latérale, avant de se rendre dans la cheminée. Mais comme la quantité d'eau qu'on peut chauffer avec la chaleur perdue des fourneaux de cuisine, excède toujours de beaucoup celle qui est nécessaire pour les besoins du service, il faut, dans tous les cas, chercher un emploi utile de cette eau chaude. Dans les hôpitaux et dans les maisons d'éducation, on peut l'utiliser pour les bains de pieds et les bains entiers.

1737. Quand les plats sont nombreux, qu'ils ne peuvent être préparés que successivement, dans un intervalle assez long, et qu'ils doivent être servis simultanément, ce qui arrive dans les grandes maisons d'éducation, il devient indispensable de les maintenir chauds jusqu'à l'instant du service. On se sert quelquefois de la partie supérieure du fourneau, qui est toujours à une température assez élevée; mais la surface libre qu'il présente n'est pas toujours suffisante. Dans ce cas il serait facile de placer

au delà du fourneau ou contre les murs, des caisses en tôle, longues, peu profondes, d'une hauteur seulement suffisante, qui seraient chauffées par la chaleur perdue et qui rempliraient parfaitement l'objet qu'on se propose; on pourrait détourner momentanément le courant d'air brûlé de la chaudière à eau chaude pour chauffer ces fours.

1738. D'après tout ce que nous venons de dire, il est facile d'apprécier les différents appareils que nous avons décrits précédemment. L'appareil représenté par les fig. 13, 14 et 15 (pl. 97), ne peut pas suffire à tous les besoins, parce qu'il ne renferme pas de plaques chauffées directement, entièrement libres, et sur lesquelles on puisse préparer les mets qui exigent une température élevée. Le four étant immédiatement au-dessus du foyer, est trop fortement chauffé, ou la chaleur que reçoivent les autres appareils est insuffisante; d'ailleurs, ce four est en fonte, matière qui n'est pas convenable, lorsque la température peut s'élever beaucoup dans une partie seulement. Ensuite tous les appareils sont chauffés par le même courant d'air brûlé, ce qui est un grand inconvénient, car on ne peut faire varier le chauffage de l'un sans faire varier dans le même sens celui de tous les autres. L'appareil de l'hôpital Saint-Louis (pl. 100 et 101) est élégant, toutes les parties en sont bien disposées, excepté les chaudières à bouillon qui sont trop grandes pour que les produits qu'elles donnent soient de bonne qualité; leurs grilles ont aussi de trop grandes dimensions. Enfin la chaudière à eau chaude n'est réellement pas chauffée par tout le courant d'air brûlé, car une partie passe directement dans la cheminée, comme on peut le voir dans la figure 4 (pl. 100). Les fours à rôtir ont aussi trop peu d'étendue et doivent être mal chauffés, car leur partie supérieure est seule en contact avec la fumée.

1739. Le fourneau de l'hôpital de la Charité (fig. 1re à 6, pl. 102) a tous ses appareils de chauffage indépendants. Les fours peuvent être bien chauffés; mais la chaleur perdue n'est pas employée à chauffer la chaudière à eau chaude.

1740. Le fourneau représenté dans les figures 4 à 8 (pl. 101) est assez bien disposé sous certains rapports; mais le chauffage de deux chaudières a lieu par le même courant, les fours sont mal chauffés, et l'air brûlé, en parcourant un trop petit espace sous la chaudière à eau chaude, ne doit produire que peu d'effet utile.

1741. Dans l'appareil figure 9 (pl. 101) les circulations sont mal éta-

blies, les chaudières ne sont chauffées que par le fond ; deux de chaque côté sont chauffées successivement par le même courant, et enfin la circulation sous la chaudière à eau chaude a trop peu d'étendue.

1742. Le fourneau représenté par les figures 7, 8 et 9 (pl. 102) est assez bien disposé ; seulement deux chaudières sont chauffées par le même courant, et les fours ne sont en contact avec l'air chaud qu'à la partie supérieure. La circulation de la fumée autour de la chaudière à eau chaude est très-bien entendue pour utiliser la chaleur perdue.

1743. Dans ce qui précède, nous avons examiné les dispositions les plus convenables des différentes parties des appareils. Il nous reste maintenant à déterminer les dimensions de la grille, des carneaux, de la chaudière à eau chaude, et enfin la dépense de combustible.

1744. C'est évidemment par la détermination de la consommation de combustible qu'il faut commencer, car c'est cette consommation qui doit servir à calculer les dimensions de la grille et des carneaux. Mais on rencontre ici de grandes difficultés, car l'effet utile produit n'est jamais qu'une très-petite partie de la quantité totale de chaleur dépensée. Dans ces sortes d'appareils, la quantité de chaleur perdue par le rayonnement des plaques de fer qui se trouvent placées au-dessus du foyer, par le refroidissement de la surface des fourneaux, et par la haute température à laquelle on est obligé d'abandonner l'air brûlé, est très-grande relativement à celle qui serait rigoureusement nécessaire pour produire sans perte l'effet obtenu. On peut cependant estimer d'une manière assez approchée la consommation de combustible, en calculant la chaleur perdue par les plaques de fer chauffées au rouge naissant qui se trouvent au-dessus du foyer. Nous avons vu que 1 mètre carré de surface de fonte à 100° exposée à l'air libre, condense par heure à peu près 2 kilog. de vapeur ; alors, en supposant l'émission proportionnelle à la température, à 600°, la quantité de chaleur rayonnée correspondrait à 12 kilogr. de vapeur, et à peu près à 2 kilogr. de houille. Ainsi 1 mètre carré de plaque de fer perd par heure la chaleur qui résulte de la combustion de 2 kilogr. de houille ; mais comme cette chaleur provient uniquement du rayonnement du combustible, et que ce rayonnement n'est que la moitié de la quantité totale de chaleur développée, il s'ensuit que si toute la chaleur rayonnée était absorbée par la plaque, il faudrait brûler sur la grille 4 kilogr. de houille à l'heure ; mais comme on ne

peut pas estimer à plus de $\frac{1}{2}$, même en comptant le rayonnement de l'enveloppe du foyer, la partie de la chaleur rayonnée qui est absorbée par la plaque, il faudrait brûler sur la grille environ 8 kilogr. de houille à l'heure pour maintenir la plaque à 600°. Ces résultats s'accordent sensiblement avec l'expérience. Dans ce cas, il y a encore la chaleur de 6 kilog. de houille à utiliser par heure. En supposant que cette chaleur fût aussi bien employée que dans le bain-marie de la Compagnie hollandaise, elle suffirait pour préparer 600 litres de bouillon, et il en resterait encore pour les autres usages et pour le chauffage de l'eau. On voit alors que, dans presque tous les cas, ce sont les dimensions des plaques de fer qui doivent servir de guide pour déterminer les dimensions de la grille et du carneau à air brûlé, la section de la cheminée et la dépense de combustible; car, en général, la quantité de combustible brûlé, pour maintenir cette plaque à une température élevée, dépasse de beaucoup celle qui est nécessaire pour effectuer les autres opérations. D'après cela, pour des plaques de 1 mètre carré, il faut compter sur une combustion de 8 à 10 kilogr. de houille par heure; la grille doit avoir de $0^{m.c.},20$ à $0^{m.c}$,30, afin que la combustion ne soit pas trop vive, et doit être placée à 0^{m},40 au-dessous de la plaque; on devra donner au tuyau central et à la partie supérieure de la cheminée une section de 3 à 4 décimètres carrés. Mais il sera toujours utile de donner aux carneaux et à la cheminée une plus grande section, surtout si, ayant un emploi utile de l'eau chaude, on refroidit beaucoup la fumée. Quant aux carneaux des chaudières à bouillon, on peut sans inconvénient donner une grande section à ceux qui se trouvent à la partie inférieure; mais il n'en serait pas ainsi pour ceux qui les enveloppent latéralement, attendu que la circulation n'aurait lieu qu'à la partie supérieure.

1745. Il résulte de ce que nous venons de dire, que les plaques de fer qu'on place au-dessus du foyer, nécessitent une consommation très-grande de combustible, qu'on ne peut pas toujours employer utilement. Dans tous les cas où ces plaques doivent avoir de grandes dimensions, et où leur usage n'est pas permanent, il y aurait de l'avantage à faire deux foyers, l'un pour les chaudières, l'autre pour chauffer les plaques, parce qu'on pourrait utiliser une bien plus grande partie de la chaleur produite, et qu'on diminuerait de beaucoup la quantité de combustible consommée. Les plaques devraient alors être chauffées, et

par rayonnement et par le contact de l'air brûlé ; on utiliserait ainsi au moins la moitié de la chaleur développée par le combustible; d'ailleurs, on pourrait encore refroidir utilement l'air brûlé à sa sortie des plaques. La fig. 10 (pl. 103) représente une coupe verticale suivant xx' (fig. 11), et la figure 11 une coupe horizontale suivant la ligne yy' (fig. 1re) de la disposition la plus convenable.

1746. En séparant ainsi le chauffage des plaques de celui des chaudières, on arrivera certainement à préparer le bouillon ou les aliments analogues en consommant moins de 10 kilogr. de houille pour 100 litres, dans une durée de 8 à 10 heures, tout en chauffant des fours et de l'eau pour les besoins du service.

1747. Dans beaucoup de grands établissements les dépenses de combustible sont énormes par suite de la mauvaise disposition des fourneaux, et on pourrait à coup sûr obtenir, par de meilleures dispositions, une grande économie qui compenserait bientôt les frais d'établissement des appareils. Nous citerons l'Hôtel des Invalides pour lequel la question économique dont il s'agit a été étudiée par M. Rudler.

Dans la cuisine des Invalides, telle qu'elle est maintenant organisée, on y fait deux services par jour. Le service du matin se compose 1° de 103 kilogr. de bœuf qui ont été cuits dans 206 kilogr. d'eau ; 2° de 50 kil. de bœuf bouilli dans 100 litres d'eau. Le service du soir se compose 1° de 103 kilogr. de bœuf à la mode ou en ragoût; 2° de 50 kilogr. de bœuf bouilli dans 100 kilogr. d'eau.

Un fourneau particulier sert à faire le rôti. On chauffe à part 2400 kilogr. d'eau pour le deuxième lavage de la vaisselle. Enfin le premier lavage s'opère dans une chaudière contenant 500 kilogr. d'eau qu'on maintient chaude pendant 12 heures par un fourneau intérieur au charbon de bois.

Les deux services du matin, y compris les 2400 kilog. d'eau chauffée pour les lavages, consomment par jour 2 stères de bois, et coûtent.....	30 fr.
Le cylindre à laver, dont l'eau est chauffée au charbon de bois, consomme une demi-voie de charbon, qui coûte....	4
Le potager consomme une voie de charbon de bois.....	8
Le rôti $\frac{1}{3}$ de stère de bois.....	5
Total de la dépense par jour...	47

Il est évident que la préparation du bouillon, la cuisson du bœuf, ainsi que le chauffage de l'eau pour le lavage, pourraient s'effectuer dans un même appareil, par le même foyer, en employant un bain-marie ou un chauffage à vapeur comme dans l'établissement de la Compagnie hollandaise, et même un simple courant d'air chaud comme dans les fourneaux des hôpitaux. Or, dans les fourneaux de la Compagnie hollandaise, on chauffe pendant 10 heures 2000 kilogr. d'eau et 1000 kilogr. de bœuf, et on élève à peu près 1000 kilogr. d'eau à 100°, avec une dépense qui n'excède pas 10 francs ; et il en coûterait certainement moins pour chauffer pendant un temps plus court, 306 kilogr. de bœuf employé à faire du bouillon, ou des ragoûts, ou du rôti, 431 kilogr. d'eau pour les bouillons, et 2400 kilogr. d'eau employée aux divers lavages, tandis que ces opérations coûtent maintenant 30 francs. Ainsi, en supposant que rien ne fût changé dans le potager, il en résulterait une économie journalière de 20 francs, et une économie annuelle qui excéderait 7,000 francs, somme qui dépasserait de beaucoup les frais d'établissement d'un appareil au bain-marie : la construction d'un appareil à vapeur coûterait de 10,000 à 12,000 francs.

On obtiendrait même, à très-peu de frais, une très-grande économie de combustible, en substituant les houilles sèches au bois dans tous les foyers, et en faisant circuler la fumée, à la sortie des fourneaux, autour d'une chaudière destinée à chauffer les eaux de lavage.

1748. Dans presque toutes les maisons particulières les fourneaux de cuisine n'ont éprouvé aucune amélioration ; ils se composent de trémies en fonte engagées dans une maçonnerie, et dans lesquelles on brûle du charbon de bois. Ce mode de chauffage est insalubre et très-cher ; il est insalubre, parce que la totalité, ou au moins une partie des produits de la combustion se répand dans la pièce, quoique le fourneau soit surmonté d'une hotte (1719), et on sait qu'une très-petite quantité d'oxyde de carbone dans l'air exerce une action très-énergique sur l'organisation ; il est très-cher, parce qu'on n'utilise qu'une très-petite partie de la chaleur produite par la combustion, et que le combustible employé est le plus cher de tous.

1749. Les fourneaux d'Harel évitent le premier inconvénient, mais ils laissent subsister le dernier.

La meilleure disposition que l'on puisse employer est celle des four-

neaux en usage dans les grands établissements, mais réduits à l'échelle convenable, parce qu'aucune partie des gaz qui proviennent de la combustion ne peut se dégager dans les pièces, que l'on utilise une grande partie de la chaleur produite dans le foyer, et enfin parce qu'on peut brûler de la houille qui, dans presque toutes les localités, est moins chère que le charbon de bois. Ces appareils sont surtout très-avantageux quand on emploie des houilles sèches et des anthracites, parce que ces combustibles brûlent lentement, et qu'ils peuvent produire des feux languissants sans perte de matières combustibles gazeuses et sans former de trop grandes quantités d'oxyde de carbone.

1750. Les fourneaux économiques, disposés comme nous venons de le dire, commencent à se répandre dans les grandes maisons(1). Mais les constructeurs les fabriquent avec trop de luxe et les vendent trop cher pour qu'ils puissent se propager dans la classe moyenne; et ces fourneaux ont tous le même défaut, leur partie supérieure est formée par une seule plaque de fonte, qui casse nécessairement pendant les premiers jours de service. Les petits appareils pourraient être disposés d'une manière bien simple, qui permettrait de les livrer au public à très-bon marché. Ils se composeraient d'une plaque de fer de $0^m,05$ à $0^m,06$ d'épaisseur ayant toute l'étendue du fourneau, dont une partie recouvrirait le foyer, et dont l'autre serait échauffée par le courant de fumée qui circulerait ensuite autour d'une petite chaudière à eau chaude placée au-dessous; un four à rôtir pourrait, à l'aide d'un registre, être chauffé directement par une partie de l'air brûlé sorti du foyer; la plaque ayant une température décroissante depuis la partie qui reçoit le rayonnement du foyer jusqu'à celle qui est abandonnée la dernière par le courant de fumée, on trouverait sur sa surface la température qui convient à l'opération qu'on veut effectuer. Si on voulait utiliser toute la chaleur de la plaque, des casseroles rectangulaires conviendraient mieux que celles qui sont circulaires, parce qu'elles pourraient recouvrir toute la plaque.

---

(1) M. René Duvoir en construit de fort élégants, très-bien disposés et exécutés avec beaucoup de soin.

CHAPITRE XV.

CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES.

1751. Le but qu'on se propose en échauffant les corps solides, est quelquefois de les employer à chauffer d'autres corps, ou par leur contact, ou par leur rayonnement; mais le plus souvent on a pour objet de produire la fusion de ces corps, ou certaines actions chimiques.

1752. Dans chaque cas particulier, la nature et la forme des appareils que l'on peut employer, dépend de la nature des corps sur lesquels on opère et de l'effet qu'on veut produire. L'examen de tous les cas qui peuvent se présenter, nous obligerait à entrer dans des spécialités qui sont hors de l'objet de cet ouvrage. Nous nous contenterons d'exposer des considérations générales que nous appliquerons ensuite à quelques cas particuliers.

1753. Dans presque tous les fourneaux où l'on soumet les corps à une haute température, l'air brûlé est abandonné, du moins à la fin de l'opération, à une température supérieure à celle des corps chauffés. Alors on n'utilise qu'une très-petite partie de la chaleur développée. Par exemple, dans les fourneaux destinés à la fusion de la fonte, on emploie 0^k5 de coke pour fondre 1^k de fonte, c'est-à-dire au moins 3000 unités de chaleur; or, d'après une expérience de Clément, 1 kilogr. de fonte en fusion projetée dans 20 kilogr. d'eau, en élève la température de 14°; ainsi la quantité de chaleur nécessaire pour chauffer et fondre ensuite 1 kilogr. de fonte $= 14 \times 20 = 280$ unités, et par conséquent la chaleur utilisée dans les fourneaux à fondre la fonte $= 280 : 3000 = 0{,}09$ de la quantité totale de chaleur développée.

1754. Dans la plupart des usines, l'utilisation de la chaleur perdue est d'une haute importance, parce que la dépense de combustible entre

toujours pour une grande partie dans le prix de revient des produits, et que partout où la consommation de combustible est considérable, une économie sur cette dépense est un bénéfice immédiatement réalisé. Mais dans tous les grands établissements il y a, sous ce rapport, beaucoup d'améliorations à faire.

1755. Pour utiliser une grande partie de la chaleur dans les fourneaux à haute température, on peut se servir de deux moyens différents.

1° Sans rien changer aux dispositions des appareils, on peut employer la chaleur de l'air brûlé à la sortie du fourneau, à la production de différents effets utiles; par exemple, à la formation de la vapeur pour une machine ou pour un chauffage, au chauffage direct de l'air pour des étuves, des séchoirs, des ateliers, etc. Dans un grand nombre de cas, l'abaissement de température de l'air brûlé augmenterait même le tirage, car nous avons vu que le maximum d'effet d'une cheminée a lieu à 300° environ. Mais comme il y a toujours des frottements à vaincre dans les appareils de chauffage, il faudrait employer des cheminées à grandes sections, dont l'effet augmente indéfiniment avec l'accroissement de section, ou un tirage mécanique, si on avait l'emploi utile de toute la chaleur de l'air brûlé.

2° Par une disposition convenable des appareils, qui permettrait de faire marcher en sens contraire l'air brûlé et le corps à échauffer, on peut parvenir à refroidir l'air brûlé à une température seulement suffisante pour le tirage. On pourrait même, dans certains cas, employer la chaleur des corps échauffés dans le fourneau, au chauffage de l'air qui doit alimenter les foyers; alors on ne dépenserait que la quantité de chaleur rigoureusement indispensable.

1756. Dans tous les cas, il faut chercher à rendre le travail continu, afin d'éviter les pertes de chaleur qui ont lieu par le refroidissement des appareils quand le travail est intermittent.

1757. Mais l'utilisation complète de la chaleur perdue n'est pas toujours possible; quelquefois les appareils seraient trop compliqués, d'autres fois on n'a pas l'emploi utile de cette chaleur; mais ces cas sont rares, et il y a réellement peu d'usines dans lesquelles un ingénieur intelligent ne puisse parvenir à réaliser de grandes économies de combustible.

Nous allons maintenant passer en revue quelques industries auxquelles il est facile d'appliquer les principes que nous venons d'exposer

1758. *Fabrication de la chaux.* La chaux s'obtient, comme on sait, en calcinant à la chaleur rouge la pierre à chaux (carbonate de chaux), dans des fours disposés de différentes manières; l'acide carbonique se dégage par la seule influence d'une température élevée. Les fours à chaux généralement employés sont disposés comme l'indique la figure 1 (pl. 105). Le four est ovoïde, creusé dans les flancs d'une butte, et revêtu intérieurement d'une enveloppe de briques réfractaires. On forme une voûte AB avec de gros morceaux de pierre à chaux, et on remplit le reste de la capacité C du four, avec des morceaux de pierre plus petits, entassés sans ordre. Le foyer est en D; le combustible s'introduit par l'ouverture F, et l'air nécessaire à la combustion pénètre dans le foyer par l'ouverture E, pratiquée au sommet de la voûte d'un canal qui communique avec l'extérieur. On peut employer comme combustible des menues branches d'arbres, de la tourbe, ou du bois. Par cette disposition, le travail est intermittent; il y a beaucoup de chaleur perdue, surtout à la fin de l'opération, pour calciner les pierres qui se trouvent à la partie supérieure; l'accès de l'air dans le foyer est fort mal disposé; et enfin la combustion n'ayant pas lieu sur grille, doit être très-imparfaite.

1759. Les figures 2 et 3 représentent en plan et en coupe verticale, un four à chaux destiné à brûler de la tourbe. La combustion a lieu sur une grille.

1760. On emploie aussi des fours continus, dans lesquels la chaux et le combustible sont placés par lits alternatifs; le combustible est toujours alors de la houille ou du coke. Ces fours sont coniques et garnis à la partie inférieure de plusieurs orifices par lesquels on enlève la chaux cuite. Pour mettre ces fours en activité, on y jette quelques fagots que l'on recouvre de houille, on y met le feu, et on ajoute ensuite des couches successives de pierre à chaux et de houille, jusqu'à ce que le four soit plein. La combustion se propage de proche en proche; lorsqu'il ne se dégage plus de fumée et qu'on reconnaît que la combustion a gagné les couches supérieures, on enlève par le bas, à peu près les deux tiers de la charge et on remplit le fourneau comme précédemment. Les petits fours produisent 12 hectolitres de chaux par jour, les plus grands de 90 à 100. On emploie 1 volume de houille ou 1 volume $\frac{1}{2}$ de coke pour 4 volumes de pierre à chaux.

Ces fours ne fonctionnent pas d'une manière assez continue; pendant

une grande partie de l'opération, l'air brûlé s'échappe à une température très-élevée; enfin le combustible est mal brûlé, et il doit se former une grande quantité d'oxyde de carbone.

1761. La disposition indiquée dans la figure 4, et qui est due à Rumfort, tout en satisfaisant à la continuité du travail, évite l'inconvénient d'une mauvaise combustion. Le foyer est latéral, et le combustible est brûlé sur grille. Mais ce four, avec un seul foyer, ne produit pas dans toutes les sections horizontales une température assez uniforme, et la chaux n'est pas également cuite.

1762. Le four représenté en élévation, en coupe verticale et en plan, par les figures 5, 6 et 7, est disposé de la même manière que celui de Rumfort; mais comme il y a quatre foyers et autant d'orifices pour dégager la chaux cuite, la température doit être distribuée d'une manière beaucoup plus uniforme, et ce four doit donner de bien meilleurs résultats que tous ceux que nous avons décrits précédemment.

1763. L'appareil dont la figure 8 est une coupe verticale, serait à mon avis, préférable encore, à cause de l'uniformité avec laquelle se répartit l'air brûlé. A la partie inférieure du four se trouvent deux foyers à grilles, surmontés de voûtes en briques, percées de nombreux orifices par lesquels se dégage l'air brûlé; la face supérieure des voûtes est plane et inclinée vers les orifices par lesquels on extrait la chaux cuite; enfin le gueulard du four peut être fermé par une plaque qu'on fait mouvoir au moyen d'une chaîne, afin d'empêcher l'air froid de pénétrer dans le four pendant qu'on enlève la chaux cuite. Ce four n'a pas été exécuté; mais il n'est pas douteux qu'il donnerait de meilleurs résultats que ceux qu'on a employés jusqu'ici.

1764. *Fours à plâtre.* On cuit ordinairement le plâtre dans des fours qui ont beaucoup d'analogie avec le four à chaux représenté figure 1re (pl. 105). On arrange les blocs les plus gros entre deux murailles, de manière à former une suite de voûtes appuyées les unes sur les autres, on forme en avant une muraille avec les mêmes matériaux, et on remplit de morceaux menus, l'intervalle qui se trouve entre les trois murs permanents du four et celui dont nous venons de parler. Les espaces, terminés supérieurement par les voûtes, servent de foyers, et on y brûle des branchages et du bois menu; un grand excès d'air pénètre nécessairement par l'ouverture libre du foyer.

Depuis quelques années on a imaginé de cuire le plâtre par la chaleur perdue des fours à coke. Mais les appareils sont très-mal disposés, car on n'utilise réellement que la température des gaz et non la chaleur qu'ils pourraient produire s'ils étaient brûlés complétement. Les figures 9, 10 et 11 (pl. 105) donnent une idée de la disposition de l'appareil; la figure 9 est une élévation; la figure 10, une coupe verticale par le milieu du four; et la figure 11, une coupe horizontale au niveau du sol du four à plâtre. A est le four à coke. B, un espace dans lequel se réunissent les gaz qui sortent du four, et d'où ils passent dans le four à plâtre C, par un grand nombre de petites ouvertures *a*, *a*, *a*. Les cheminées D, D, servent à faire dégager ces gaz lorsqu'on charge ou qu'on décharge le four à plâtre.

Pour employer à la cuisson du plâtre la chaleur et les gaz combustibles perdus dans la fabrication du coke, il faudrait introduire un courant d'air dans les gaz qui sortent du four, afin de brûler ceux qui ne le sont pas, et au delà de la flamme un autre courant d'air plus considérable, afin d'abaisser la température du mélange au moins à 200° ou 300°, attendu que la cuisson du plâtre s'effectue à une température peu supérieure à 100°, et qu'une température trop élevée en altère la qualité.

1765. Les figures 12 et 13 représentent une élévation et une coupe verticale d'un four à plâtre construit par MM. Thomas et Laurens. La chaleur est fournie par deux foyers à houille A, A; les gaz qui proviennent de la combustion se dégagent par les orifices *a*, *a*; de larges espaces B, B, B, garnis de registres glissants, admettent de l'air extérieur en quantité suffisante pour abaisser la température des gaz à la limite convenable; et le mélange pénètre dans le four par les orifices *b*, *b*, uniformément répartis sur le sol du four. La température du plâtre cuit ne dépassant pas 100°, la continuité dans le travail n'est pas aussi importante dans les fours à plâtre que dans les fours à chaux.

1766. *Fours à briques.* Dans les fours à briques, tels qu'on les construit maintenant, il y a une très-grande quantité de chaleur perdue, surtout à la fin de l'opération, quand il faut élever à la température rouge les briques qui sont les plus éloignées des foyers. Il serait cependant très-important de réduire autant que possible la consommation de combustible, parce que la valeur du combustible brûlé entre pour une très-

grande proportion dans le prix de revient de cet élément si important des constructions.

1767. On y parviendrait facilement au moyen de la disposition suivante. Imaginons un certain nombre de fourneaux, six par exemple, rangés circulairement autour d'une cheminée, fig. 14, 15 et 16 (pl. 105); supposons que chaque four ait un ou plusieurs foyers, et puisse communiquer par sa partie supérieure et sa partie inférieure avec le four suivant et avec la cheminée commune, toutes ces ouvertures étant pourvues de registres en fonte, ou en briques placés dans des cadres de fer; et représentons par A, B, C, D, E, F, les six fours consécutifs, dont le dernier communique avec le premier. Les trois ou quatre premiers fours étant remplis de briques sèches, on allumera le foyer de A, en faisant sortir l'air brûlé par sa partie supérieure pour gagner la cheminée. Lorsque ce four commencera à s'échauffer, on fera passer l'air brûlé de haut en bas dans le four B, et plus tard de bas en haut dans le four C. Lorsque les briques du four A seront cuites, on fermera exactement les portes du foyer et du cendrier de ce four, ainsi que sa communication avec la cheminée, on allumera le foyer du four B, et on fera passer l'air brûlé par les fours C, D et E, et ainsi de suite. Le nombre des fours, la durée des opérations, celle du refroidissement de chaque four, et celle du chargement et du déchargement, devront être déterminés de manière qu'il n'y ait jamais d'interruption dans la marche des opérations, et que quand on allumera le foyer de F, le four A soit refroidi, que les briques cuites en aient été enlevées et remplacées par des briques crues. Par ce système d'opération, on utilise presque toute la chaleur produite dans les foyers, et on peut placer dans les fours des briques crues moins sèches que lorsqu'on suit les méthodes ordinaires, attendu que dans chaque four, les briques sont traversées par des courants d'air chaud dont la température croît très-lentement. Ce mode de fabrication que j'ai indiqué il y a longtemps, dans mes cours à l'École centrale, a été mis en pratique à Toulouse par M. Boistel, ingénieur civil, ancien élève de l'école.

Ce système d'opération s'appliquerait facilement à la fabrication de la chaux.

1768. *Fourneaux à réverbère.* Dans tous les fourneaux à réverbère, la quantité de chaleur utilisée n'est jamais qu'une très-petite partie de celle qui est produite dans le foyer, parce que l'air brûlé est toujours

abandonné à une très-haute température. Dans un grand nombre de cas, on peut utiliser la chaleur perdue pour échauffer les corps sur lesquels on doit opérer, et pour cela il suffit que les fours soient allongés ou formés de plusieurs étages, parcourus successivement par l'air brûlé. La chaleur perdue peut aussi être employée à produire des actions chimiques qui n'exigent pas une température aussi élevée que les opérations qui s'exécutent dans le premier four. Je citerai comme exemple, les fours employés pour la décomposition du sulfate de soude par le charbon, opération qui exige une température très-élevée. A l'origine des fabriques de soude, et même longtemps après, on perdait complétement la chaleur renfermée dans les gaz qui sortaient de ces fours ; mais plus tard on plaça immédiatement après, les fours dans lesquels on décompose le sel marin par l'acide sulfurique, et où l'on calcine le sulfate produit ; la chaleur perdue des premiers fut suffisante pour le travail des derniers, et on économisa complétement le combustible que ceux-ci consommaient auparavant.

Quand l'utilisation de la chaleur n'exige pas des circuits trop prolongés de l'air brûlé, et quand la température de la fumée n'est pas abaissée au-dessous de 150 à 200°, le tirage de la cheminée est peu diminué, parce que le refroidissement seul de l'air brûlé à 300° l'augmente, et qu'un refroidissement plus considérable le diminue très-peu ; d'ailleurs, comme les cheminées doivent toujours avoir un excès de puissance due à un excès de section, une plus grande ouverture du registre compenserait la perte de tirage.

1769. Mais quand on a l'emploi de toute la chaleur perdue, et qu'on peut disposer d'une action mécanique, il y a bien plus d'avantage à produire l'appel de l'air dans le foyer par une machine, que de conserver à l'air brûlé une température assez élevée pour effectuer le tirage. Pourvu toutefois que l'action mécanique provienne de la chaleur, car le travail des hommes et des animaux revient partout à un prix beaucoup plus élevé.

1770. Il y a même des circonstances dans lesquelles un tirage mécanique, ou une introduction forcée de l'air dans le foyer, évite de graves inconvénients ; je citerai comme exemple les verreries. Dans les fours où l'on fond le verre, il n'y a point réellement de cheminée, le tirage résulte de la force ascensionnelle de l'air chaud dans la hauteur du four, et ce faible tirage est souvent influencé par les vents. D'après des ren-

seignements qui m'ont été donnés par M. Fontenay, ingénieur civil, ancien élève de l'École centrale, dans un four à verre, dont la halle était placée dans une gorge étroite, la fonte ne marchait que par certains vents; mais en établissant à côté des cendriers un ventilateur à force centrifuge mis en mouvement par un homme, le travail a été rendu indépendant du vent. Le ventilateur marche seulement pendant la fonte qui dure 14 heures; deux ouvriers qui se relayent d'heure en heure, suffisent pour effectuer une combustion de près de 200 kilogr. de bois par heure. Les creusets ont 1 mètre de hauteur sur $0^{m},30$ de largeur, et les grilles sont en terre cuite.

1771. *Fourneaux dans lesquels on utilise une grande partie de la chaleur produite, en faisant marcher les corps qui doivent être échauffés, en sens contraire du courant d'air brûlé.* La revivification du noir animal, dans les raffineries de sucre, s'exécute ordinairement dans des cylindres de fonte que l'on chauffe progressivement jusqu'au rouge obscur. On conçoit facilement que ces cylindres pourraient être portés par des axes, sur deux barres de fonte parallèles entre elles, perpendiculaires à la direction des barreaux de la grille, qui se prolongeraient dans l'espèce de four qui se trouve à côté du foyer, et qui seraient un peu inclinés vers lui; les cylindres arriveraient progressivement vers le foyer au-dessus duquel l'opération se terminerait.

L'appareil, figures 1re et 2 (pl. 107), qui est employé dans plusieurs établissements, avec de légères modifications, satisferait à la condition que nous avons énoncée. Dans ce fourneau, les cylindres sont mobiles sur deux barres de fonte; l'air brûlé en parcourt successivement les surfaces supérieures et les surfaces inférieures, et ensuite la surface inférieure d'une caisse rectangulaire en tôle sur laquelle on fait sécher le noir épuisé avant de l'introduire dans les cylindres. Les barres sur lesquelles roulent les axes des cylindres, sont plus élevées au-dessus du foyer qu'à l'extrémité du four, et les cylindres se chargent près du foyer. En changeant la pente des barres, en allongeant le four, et en introduisant d'abord les cylindres par la partie la plus éloignée du foyer, on obtiendrait certainement de meilleurs résultats. Cependant, comme la chaleur que renferme l'air brûlé en sortant du four, est employée en grande partie à chauffer la caisse de tôle sur laquelle on sèche d'abord le noir, la modification indiquée n'aurait pas un grand avantage; mais elle en aurait

un très-grand, dans le cas où la fumée du four serait versée dans la cheminée immédiatement après avoir quitté les cylindres.

1772. *Utilisation de la chaleur perdue par les gaz combustibles qui se dégagent des hauts fourneaux.* Indépendamment de la perte de chaleur provenant de la haute température à laquelle l'air brûlé est abandonné dans la plupart des appareils de chauffage, il existe dans quelques-uns, une cause de perte beaucoup plus considérable encore, qui provient de ce que les gaz qui se dégagent renferment beaucoup de gaz combustibles. C'est ce qui arrive pour les fours à coke, pour les hauts fourneaux, et pour tous les appareils dans lesquels il est important de ne pas oxyder les matières soumises à l'action de la chaleur, et qu'on ne peut mettre en contact qu'avec des gaz qui ont été dépouillés d'oxygène en passant à travers des couches épaisses de combustible incandescent, où ils se chargent toujours d'une quantité plus ou moins considérable d'oxyde de carbone ou de carbures d'hydrogène. Alors, pour utiliser la chaleur et le combustible perdus, il faut brûler complétement les gaz avant de les faire passer dans les appareils qui doivent en absorber la chaleur.

Nous insistons principalement sur la chaleur perdue dans les hauts fourneaux, parce qu'elle est très-considérable, et que l'utilisation de cette chaleur est d'une grande importance dans la métallurgie du fer. Nous exposerons succinctement les différents essais qui ont été faits à ce sujet.

1773. Le premier emploi de la flamme des hauts fourneaux paraît avoir été fait en 1812 par M. Aubertot, à la cuisson de la chaux et des briques. Le rapport très-détaillé de M. Berthier sur les appareils de M. Aubertot, contient l'indication de presque tous les usages auxquels on pourrait employer la chaleur perdue des hauts fourneaux et des fourneaux à réverbère qui servent au travail du fer; mais M. Berthier ne prévoyait pas alors que, par la combustion des gaz qui sortent des gueulards, on pourrait produire une température aussi élevée que celle qu'exige la réduction de la fonte.

1774. En 1829, à la suite de la découverte de MM. Neilson et Taylor, relative à l'emploi de l'air chaud dans le travail du fer, des calorifères de différentes formes furent placés sur les gueulards des hauts fourneaux.

1775. De 1834 à 1835, M. Houzeau-Muyron plaça à côté du gueulard, des appareils dans lesquels le bois était torréfié par la chaleur perdue.

1776. A la même époque, MM. Thomas et Laurens commencèrent à construire des chaudières à vapeur, destinées à faire mouvoir les machines soufflantes, et qui étaient chauffées par la chaleur perdue des hauts fourneaux; les foyers étaient à une distance de $0^m,50$ des bords des gueulards, et les gaz étaient brûlés sous les chaudières par des courants d'air dont la section était réglée par des registres.

1777. En 1837, M. Robin, directeur des forges de Niederbronn, parvint à chauffer, par les gaz perdus des hauts fourneaux, des chaudières à vapeur placées loin des gueulards. Mais comme M. Robin prenait les gaz immédiatement au-dessous de la plaque du gueulard, maintenue fermée, l'écoulement était interrompu toutes les fois qu'on chargeait le fourneau; il fallait alors rallumer les gaz après chaque charge, et par conséquent on n'obtenait pas un chauffage régulier.

1778. En 1839, MM. Thomas et Laurens imaginèrent pour l'utilisation des gaz des hauts fourneaux, plusieurs dispositions très-importantes qui consistent : 1° dans un appareil au moyen duquel on obtient un écoulement permanent de gaz; 2° dans un appareil qui dépouille les gaz des poussières qu'ils entraînent; 3° dans une disposition particulière des foyers à gaz.

1779. L'appareil destiné à produire un écoulement permanent, a déjà été indiqué (1018); il consiste en un cylindre de fonte ouvert par les deux bouts, et qui forme l'orifice du gueulard; sa capacité est égale au volume de une à deux charges, et son orifice inférieur descend dans le fourneau à la profondeur où les gaz n'exercent plus d'action chimique sur le minerai. Les gaz qui montent principalement contre les parois du fourneau, se réunissent dans l'espace annulaire compris entre le cylindre et la partie supérieure rélargie du fourneau, et s'écoulent de là sans interruption par les tuyaux de conduite.

1780. L'appareil employé au nettoyage des gaz est fondé sur le même principe que celui que nous avons indiqué (888), pour séparer de la vapeur l'eau qu'elle entraîne; il consiste en une cloche communiquant par sa partie supérieure avec le tuyau de conduite, ouverte par le bas, reposant dans un vase plein d'eau, et garnie latéralement, vers le haut, d'un tuyau qui aboutit au foyer. Les gaz arrivent verticalement, à une petite distance de la surface de l'eau renfermée dans la cloche; alors les matières en suspension, en vertu de leur inertie, se précipitent dans

l'eau où elles restent, tandis que les gaz purifiés se dégagent par le tube latéral.

1781. Enfin les foyers, dont nous avons déjà parlé (680), consistent en un grand nombre de tubes par lesquels se dégagent les gaz, et qui sont environnés d'autres tubes concentriques formant avec les premiers des espaces annulaires par lesquels sort l'air lancé par la machine soufflante; l'air et les gaz sont fortement échauffés par la chaleur perdue du fourneau avant d'arriver dans les becs de combustion.

1782. MM. Thomas et Laurens, de concert avec MM. Dandelarre et de Lisa, propriétaires des forges de Treveray, commencèrent à cette époque à s'occuper de l'application en grand du chauffage des fours à travailler le fer par la combustion des gaz.

1783. Dans la même année, M. Bunsen de Cassel publia un mémoire très-remarquable sur la composition des gaz des hauts fourneaux. Il résulte des analyses faites par ce chimiste, que la quantité d'acide carbonique diminue et que celle de l'oxyde de carbone augmente dans les gaz pris à des profondeurs croissantes. M. Bunsen remarque que les gaz pris à une distance du gueulard égale à peu près au tiers de la hauteur du fourneau, et qui contiennent 0,33 d'oxyde de carbone, exigent pour leur combustion un volume d'oxygène égal à celui qu'ils renferment, et par conséquent, d'après la loi de Velter, que la quantité de chaleur utilisée dans le fourneau est seulement la moitié de celle que le charbon employé peut produire, et que ces gaz, préalablement échauffés ainsi que l'air, peuvent acquérir, par la combustion, la température nécessaire à la fusion de la fonte. Mais ces calculs conduisaient à faire regarder cette opération comme impossible par la combustion des gaz pris au sommet du fourneau, qui ne renferment que 0,25 d'oxyde de carbone.

1784. Dans le même volume des Annales des mines, se trouve un mémoire de M. Ebelmen sur la composition des gaz du haut fourneau de Clerval. La proportion d'oxyde de carbone s'élève seulement de 0,15 à 0,16; mais M. Ebelmen, en employant pour la puissance calorifique de l'oxyde de carbone le nombre obtenu par Dulong, trouve que ces gaz brûlés avec de l'air à 300°, peuvent produire une température assez élevée pour liquéfier la fonte.

1785. Le 21 juin 1841, MM. Thomas et Laurens, conjointement avec MM. Dandelarre et de Lisa, firent connaître à l'Académie des sciences

les résultats qu'ils obtenaient, en travail régulier, pour le chauffage des fours à pudler, par la combustion des gaz qui se dégagent des hauts fourneaux. D'après leur note, le four à pudler établi à l'usine de Treveray, marchait régulièrement depuis un mois et convertissait en fer 3000 kilogr. de fonte par jour, quantité plus grande que celle qui est produite par le haut fourneau. La qualité du fer ne différait pas de celle du fer obtenu par l'affinage au charbon de bois.

1786. Le 16 août suivant, M. Faber-Dufaur fit parvenir à l'Académie des sciences une note, dans laquelle il annonçait qu'il était lui-même parvenu, dans l'usine de Wasseralfingen, et depuis plusieurs années, à fabriquer le fer par les gaz des hauts fourneaux ; mais que tous ses essais avaient été tenus secrets par ordre de l'administration.

1787. A la fin de la même année, M. Ebelmen a publié une série d'expériences nouvelles sur les gaz des fourneaux de Clairval et d'Audincourt, pris à différentes profondeurs. Il résulte des analyses faites par cet habile chimiste : 1° que l'air injecté dans les fourneaux se transforme rapidement et à une petite distance de la tuyère, d'abord en acide carbonique, et ensuite en oxyde de carbone ; 2° que la quantité d'acide carbonique que renferment les gaz augmente, et que celle d'oxyde de carbone diminue à mesure que les gaz s'élèvent dans le fourneau, ainsi que M. Bunsen l'avait déjà observé ; 3° que les gaz, au sommet du haut fourneau de Clairval, sont composés en volumes, de 12,88 d'acide carbonique, de 23,31 d'oxyde de carbone, de 5,82 d'hydrogène, et de 57,79 d'azote. Que ceux du haut fourneau d'Audincourt sont formés de 12,59 d'acide carbonique, de 25,24 d'oxyde de carbone, de 6,75 d'hydrogène et de 55,62 d'azote ; 4° que les pertes de combustible, dans ces hauts fourneaux, s'élèvent à 0,62 pour le premier, et à 0,67 pour le second. Le premier fourneau marche au charbon de bois, le second avec un mélange de bois et de charbon de bois.

1788. Enfin M. Delesse, élève-ingénieur des mines, a publié dans les Annales des mines de 1842, une description détaillée des appareils de M. Fabre-Dufaur, établis à l'usine de Wasseralfingen et dans d'autres usines d'Allemagne. Les particularités qui caractérisent ces appareils sont 1° la prise des gaz à une distance du gueulard égale au tiers de la hauteur du fourneau, afin d'obtenir des gaz très-riches en oxyde de carbone et ne contenant que peu de vapeur d'eau ; 2° la combustion des gaz arrivant

en une seule veine dans les foyers des fourneaux, par de l'air lancé par 7 buses seulement; 3° l'absence complète de toute disposition destinée à enlever aux gaz les matières solides qu'ils entraînent.

1789. D'après les détails que nous venons de donner, on voit que les essais relatifs au chauffage des fours employés au travail du fer, par les gaz qui se dégagent des hauts fourneaux, ont été faits à peu près à la même époque en France et en Allemagne. Mais la priorité d'invention appartient aux métallurgistes français qui ont fait connaître les premiers les résultats qu'ils avaient obtenus. La propriété légale de cette importante amélioration dans le travail du fer, leur est acquise également par des brevets antérieurs à ceux qui ont été pris pour les procédés allemands.

1790. Du reste, les dispositions des appareils employés en France me paraissent bien supérieures à celles des appareils dont on se sert en Allemagne.

D'abord, la prise de gaz ne peut être faite qu'au-dessus du fourneau; car il est bien évident que l'on ne gagne rien à la faire au-dessous, l'excès de matière combustible que renferment les gaz devant nécessairement être compensé par un accroissement de consommation de charbon dans le fourneau. D'ailleurs, cette prise de gaz au-dessous du gueulard change nécessairement l'allure du fourneau, car si on prenait tous les gaz, tout se passerait comme si le fourneau se terminait au niveau de la prise. Enfin on doit chercher à utiliser tous les gaz qui se dégagent; car la chaleur qu'ils peuvent produire est insuffisante pour le chauffage de l'air d'insufflation, le travail des machines soufflantes, et le chauffage d'un four à pudler qui affinerait toute la fonte produite dans le fourneau. Alors la disposition de la prise de gaz autour du cylindre métallique qui forme l'ouverture du gueulard, dans la disposition employée à Treveray, semble ne rien laisser à désirer.

Le nettoyage des gaz, d'après les expériences faites aux forges de Treveray, est une précaution indispensable, car les matières entraînées nuisent au soudage du fer et en altèrent toujours la qualité. Ces matières sont en quantité tellement considérable, que chaque jour on est obligé d'enlever les dépôts qu'elles forment dans le vase plein d'eau où elles viennent se précipiter; par une disposition particulière, ces dépôts sont enlevés sans qu'on soit obligé d'interrompre l'écoulement des gaz et sans que les ouvriers soient exposés à les respirer.

Enfin les appareils de combustion employés en France sont bien plus avantageux que ceux qui ont été imaginés par M. Faber-Dufaur, parce que l'air et les gaz sont plus divisés ; qu'on peut régler plus facilement les quantités relatives de ces gaz qui sont mis en contact, et qu'on peut obtenir une combustion plus complète en n'employant qu'un excès d'air beaucoup plus petit, circonstance qui exerce une grande influence sur la température produite.

1791. La perte de combustible, dans un haut fourneau, varie suivant sa construction, son allure et la nature de la mine ; dans le même haut fourneau, avec la même mine et le même combustible, elle varie même dans des limites assez étendues ; par exemple, d'après M. Ebelmen, la consommation du fourneau de Clairval était de 122 kilogr. de charbon par 100 kilog. de fonte lors de ses premières expériences, et de 148 pendant les dernières ; on attribuait l'accroissement de dépense à la diminution du vent.

1792. Nous avons déjà dit que, d'après les expériences de M. Ebelmen, les pertes de combustible dans les fourneaux de Clairval et d'Audincourt étaient égales à 0,62 et 0,67 du combustible consommé. Ces nombres doivent peu s'éloigner des pertes produites dans la plupart des autres fourneaux marchant au charbon de bois. Mais pour les hauts fourneaux marchant au coke, les pertes sont plus considérables, parce que les quantités relatives de coke employées sont beaucoup plus grandes. Dans les premiers, les quantités de charbon varient de 100 à 160^k, et dans les derniers les quantités de coke s'élèvent de 140 à 220^k.

1793. Dans chaque cas particulier on pourra facilement trouver la quantité de chaleur produite par la combustion d'un mètre cube de gaz, quand on connaîtra sa composition ; et on pourra déterminer le carbone renfermé dans la quantité de combustible correspondante, en prenant pour cette quantité, celle du carbone contenue dans le gaz, diminuée du poids du carbone fourni par la castine.

1794. Quant à la température développée par la combustion des gaz, on ne peut obtenir à cet égard qu'une approximation assez vague, car on ne connaît pas avec certitude la chaleur spécifique de la vapeur d'eau, et on ne sait absolument rien sur les variations des chaleurs spécifiques des gaz par les accroissements de température ; d'ailleurs, cette température dépendra nécessairement de la quantité d'air qui sera employée,

et, par conséquent, de la disposition des appareils de combustion et des vitesses des courants d'air et de gaz. M. Ebelmen, en admettant que la chaleur spécifique des gaz soit constante, et qu'on n'emploie que la quantité d'air rigoureusement nécessaire, a trouvé que pour les gaz qui se dégagent du gueulard des hauts fourneaux de Clerval et d'Audincourt, la température produite par le combustible serait très-voisine de 1300°; mais on l'augmenterait de beaucoup en ne mettant les gaz en contact qu'après qu'ils auraient été fortement échauffés. Ces calculs font voir, ainsi que des expériences sur une grande échelle l'ont démontré, que par la combustion de ces gaz, on peut obtenir les plus hautes températures que réclame l'industrie.

1795. Nous terminerons ces considérations générales sur l'emploi des gaz qui se dégagent des hauts fourneaux, par la description du four à pudler établi à Treveray.

La figure 1re (pl. 106) représente une élévation du four; la figure 2, une coupe verticale suivant *xx'* (fig. 3); la figure 3, une coupe horizontale suivant *yy'* (fig. 2); la figure 4, une coupe verticale suivant *zz'* (fig. 2); et la figure 5, une coupe verticale suivant *tt'* (fig. 2). A est le foyer; l'air fortement échauffé par la chaleur des gaz brûlés à la sortie du four, arrive par le tube *d* dans la caisse de fonte C, d'où il s'écoule par 50 petits tuyaux qui traversent la boîte S, dans laquelle se rendent par le tuyau *b* les gaz aussi échauffés, et d'où ils sortent par 50 petits tuyaux qui enveloppent les tubes à air. B est le four disposé comme à l'ordinaire. C, un petit four placé à la suite du premier, chauffé par les mêmes flammes, et dans lequel on porte la fonte au rouge avant de l'introduire dans le four B. D, D, D représentent un canal sinueux que parcourt ensuite l'air brûlé; ce canal est traversé par des tuyaux de fonte qui conduisent l'air au foyer et dans lesquels il prend une haute température. Dans les figures, l'air seulement est échauffé, mais habituellement on chauffe aussi les gaz par le même moyen. E est la cheminée d'écoulement des gaz brûlés. F est une soupape de sûreté en forme de clapet, qui sert à prévenir les effets produits par la détonation d'un mélange d'air et de gaz, dans le cas où l'on allumerait le foyer sans précaution. G et H sont les deux portes du four; derrière les ouvertures de travail *g* et *h*, et latéralement, sont placés de petits jets d'air, qui ont pour objet de refouler dans le four, les jets de flamme qui tendent à sortir à cause de

l'excès de pression des gaz. Avec ce four, on réduit à l'état de fer, 3000 kilogrammes de fonte dans 24 heures; le déchet est seulement de 3 à 5 pour cent, au lieu de 6 à 10; et on économise dans le même temps à peu près 2400 kilogrammes de houille, tout en obtenant du fer aussi bon que celui qui proviendrait de l'affinage au charbon de bois.

1796. *Emploi des gaz produits directement, avec différents combustibles, pour le chauffage des fours à haute température.* Nous avons parlé (686) des avantages que présentent les foyers à gaz sous le rapport de la direction du chauffage, de la facilité avec laquelle on rend les flammes oxydantes ou désoxydantes, de la grande économie que présenterait ce mode de chauffage, si les gaz étaient produits par des combustibles pulvérulents ou très-chargés de matières étrangères, qui n'ont qu'une très-petite valeur et sont presque sans usage, et nous avons indiqué l'appareil imaginé par MM. Thomas et Laurens pour produire ces gaz (688). C'est principalement dans les travaux de la métallurgie que ce mode de chauffage serait important, et par l'uniformité des effets qui seraient produits, et surtout parce que les gaz pourraient être dépouillés dans leur préparation même, des matières étrangères nuisibles, que renferment presque toutes les houilles.

1797. *Emploi de la vapeur d'eau à basse pression et à haute température.* Lorsque de la vapeur, à la sortie d'un générateur, s'écoule par un tube placé dans un foyer, elle peut acquérir une très-haute température et un accroissement très-faible de tension. Cette vapeur peut alors être employée avec avantage pour chauffer certains corps, et à cause de la grande chaleur spécifique de la vapeur d'eau, et parce que dans certaines circonstances elle n'exerce aucune des actions chimiques que produirait l'air chaud, même lorsqu'il a servi à la combustion, attendu qu'il n'est jamais entièrement dépouillé d'oxygène.

Ce mode de chauffage a été appliqué, il y a plusieurs années, par MM. Thomas et Laurens, à la revivification du charbon animal. Les fig. 3 et 4 (pl. 107) représentent une coupe du premier appareil qui a été employé pour rendre au noir animal ses qualités primitives. La vapeur, fournie par un générateur à basse pression, arrive par un tube *a*, garni d'un robinet *b*, dans un serpentin *c*, *c*, placé dans un fourneau BB, dont A est le foyer et C la cheminée. La vapeur échauffée passe par le tuyau *d* garni du robinet *e*, dans le vase en fonte D enveloppé d'une maçonnerie

H. Le vase D est fermé supérieurement par un couvercle E pressé par une vis, et inférieurement par un bouchon conique G, que l'on peut soulever au moyen d'une tringle. A la partie inférieure du vase se trouve un canal annulaire F, dont la surface intérieure est percée d'un grand nombre de petits orifices qui donnent accès à la vapeur qui a traversé les corps renfermés dans le vase, et d'où elle se dégage ensuite par le tuyau *f* muni du robinet *g*. Au moyen de cet appareil MM. Thomas et Laurens ont carbonisé avec un plein succès le bois, les os, et la houille.

Depuis, les mêmes ingénieurs ont fait plusieurs modifications importantes à cet appareil. La flamme et la fumée en sortant du foyer, passent d'abord sous une voûte sur laquelle se trouve étalé le tube traversé par la vapeur, plusieurs fois replié sur lui-même; la fumée passe ensuite au-dessus du tube sous une voûte qui la conduit dans un carneau qui circule autour du vase qui contient le noir; et de là, elle s'écoule dans la cheminée, en passant sous une plaque de tôle sur laquelle on commence à dessécher le noir, avant de l'introduire dans le vase où il doit recevoir l'action de la vapeur. La vapeur échauffée, à son entrée dans le vase de revivification, est à la température de la fusion du plomb; sa force élastique est au plus d'une atmosphère $\frac{1}{4}$, cette pression est suffisante pour vaincre la résistance qu'éprouve la vapeur à traverser le noir, mais elle est trop petite pour fatiguer les joints. Tous les robinets doivent être en fonte, l'expérience ayant fait reconnaître que ceux qui sont en cuivre perdent toujours. Pour les grandes raffineries, on opère à la fois sur 800 litres de noir, et l'opération dure 5 heures. Le noir tel qu'il sort des filtres est placé d'abord sur les plaques de séchage et ensuite dans le vase fermé; il est employé immédiatement à la sortie de cet appareil; le déchet qu'il éprouve est presque nul.

1798. *Moyen de produire des températures beaucoup plus élevées que celles qu'on a obtenues jusqu'ici.* Lorsqu'on brûle un combustible dans un foyer découvert surmonté d'une cheminée, la température du combustible est peu élevée, à cause du petit volume d'air qui le traverse et du rayonnement des surfaces libres. Quand le foyer est fermé, que la hauteur du combustible est suffisante, et que l'air est appelé par une bonne cheminée ou introduit par une machine soufflante, et que la totalité de l'oxygène est transformée en acide carbonique, on obtient dans le foyer le maximum de température qui puisse être produit par

le même combustible, et l'air doit avoir alors la température du combustible lui-même. En supposant que la chaleur spécifique de l'air soit constante, la température produite par la combustion du charbon de bois s'élèverait (247) à peu près à

$$\frac{7000}{0,25 \times 8,20 \times 1,3} = 2631.$$

1799. Mais si l'on employait de l'oxygène pur, le volume de gaz nécessaire à la combustion se trouverait réduit à $8^m,20 \times 0,21 = 1^m,72$; et comme la densité de l'acide carbonique est 1,52, et que sa chaleur spécifique est 0,22, la température du foyer serait de

$$\frac{7000}{0,22 \times 1,72 \times 1,3 \times 1,52} = 9333.$$

Ainsi la température d'un foyer alimenté par de l'oxygène pur est à peu près quatre fois plus grande que quand la combustion a lieu avec l'air atmosphérique. Ce fait est connu depuis longtemps; mais on n'a jamais cherché à remplacer dans la combustion l'air par l'oxygène, à cause du prix élevé de ce dernier gaz. Le procédé le plus économique pour obtenir l'oxygène pur consiste dans la calcination au rouge du peroxyde de manganèse dans des cylindres de fonte; 1 kilog. de cette matière fournit à peu près 20 litres de gaz; ainsi 1 mètre cube d'oxygène exigerait 5 kilogr. de manganèse, qui au prix actuel coûteraient $2^f,50$, et il faudrait encore ajouter à cette dépense le prix du combustible consommé et celui de la main-d'œuvre.

1800. On pourrait obtenir, non de l'oxygène pur, mais de l'air beaucoup plus riche en oxygène que l'air atmosphérique, par une simple action mécanique. En effet, l'eau dissout $\frac{1}{15}$ de son volume d'oxygène, et $\frac{1}{30}$ de son volume d'azote, ces gaz étant mesurés sous des pressions égales à celles de ces deux gaz dans l'atmosphère qui pèse sur l'eau, quelle que soit d'ailleurs la force élastique totale de cette atmosphère. Il résulte de là, que le volume d'air renfermé dans l'eau à la température ordinaire est égal à 0,04 du volume de l'eau, et qu'il est composé de 0,34 d'oxygène et de 0,66 d'azote. Supposons maintenant qu'on comprime de l'air dans de l'eau sous une pression de deux atmosphères; qu'on fasse passer cette eau sous un gazomètre; qu'on recueille l'air qui se dégagera; qu'on

le comprime de nouveau dans de l'eau, et qu'on opère de la même manière sur le gaz qui se dégagera de ce liquide après cette nouvelle opération. On obtiendra de l'air qui renfermera successivement 0,34; 0,50; et 0,66 d'oxygène. Mais le travail mécanique consommé serait très-considérable, à cause de la grande masse d'eau sur laquelle il faudrait opérer. En faisant le calcul du prix de revient d'un mètre cube d'air à 0,34 d'oxygène, on trouve qu'il serait au moins équivalent au prix de 8 kilogr. de houille; ainsi cette méthode n'est pas praticable. Mais si on pouvait disposer d'un courant d'eau, sur lequel on établirait une large cloche de tôle dans laquelle une pompe aspirante maintiendrait un vide de 1 à 2 mètres, l'air extrait de l'eau qui se renouvellerait constamment, reviendrait à un prix beaucoup moins élevé. Cette disposition pourrait être étudiée dans le cas où il serait important d'obtenir des températures supérieures à 3000°; le combustible devrait être un gaz très-riche en carbone et en hydrogène, et on disposerait le foyer comme nous l'avons indiqué (680).

CHAPITRE XVI.

DU REFROIDISSEMENT.

1801. Nous nous sommes déjà occupés plusieurs fois du refroidissement, et comme il s'agissait seulement de déterminer l'étendue des surfaces de chauffe des différents appareils de chauffage, et que des variations, même assez considérables, dans l'étendue de ces surfaces, n'en occasionnent que de fort légères dans les effets utiles du combustible consommé, nous avons pu nous contenter d'une approximation assez grossière. Mais il se présente des cas qui exigent une plus grande précision, et d'autres dans lesquels la transmission de la chaleur s'effectue à travers des corps non métalliques, dont il n'a pas encore été question. Dans ce chapitre, nous nous occuperons d'abord de la théorie du refroidissement, et ensuite des dispositions qu'il convient d'employer pour retarder ou accélérer la transmission de la chaleur.

§ 1. — THÉORIE DU REFROIDISSEMENT DES CORPS DANS L'AIR.

1802. Lorsqu'un liquide est renfermé dans un vase de métal ou d'une matière conduisant mal la chaleur, mais d'une très-faible épaisseur, quoique l'on puisse admettre qu'à chaque instant tous les points de la masse sont à la même température, les lois du refroidissement sont très-compliquées; et elles le deviennent bien davantage quand le liquide est enveloppé par un corps mauvais conducteur d'une certaine épaisseur, ou quand le fluide intérieur est de l'air, ou quand toute la masse qui se refroidit est solide. Nous examinerons successivement les différents cas qui se rencontrent dans l'industrie, en cherchant à représenter le refroidissement par des formules simples et d'une application facile.

1803. *Refroidissement d'un liquide renfermé dans un vase métallique,*

ou d'une substance quelconque, mais d'une petite épaisseur. Lorsque le vase est métallique, sa nature et son épaisseur sont sans influence, du moins dans les limites d'épaisseurs généralement employées, et il en est encore de même quand le vase est formé d'un corps mauvais conducteur, dont l'épaisseur est très-petite; parce que l'on peut toujours considérer tous les points du liquide et du vase comme ayant à chaque instant la même température; mais dans tous les cas l'état de la surface extérieure du vase a une grande influence sur le refroidissement.

1804. Les deux formules citées (30), qui résultent de l'hypothèse que la vitesse du refroidissement est proportionnelle à l'excès de la température du corps sur celle du milieu environnant, s'éloignent trop de la réalité, lorsque les différences de température sont très-grandes, pour être employées dans tous les cas; elles ne peuvent servir qu'autant que l'excès de la température du vase sur celle de l'air ne dépasse pas 20 ou 30 degrés, ou que l'on ne cherche pas une grande approximation.

1805. D'après Petit et Dulong, la forme des vases est sans influence, et en désignant par v la vitesse du refroidissement, c'est-à-dire l'abaissement de température qu'éprouverait le corps pendant l'unité de temps, si l'excès de sa température sur celle du milieu environnant restait constant et égal à t, on a

$$v = m(a^t - 1) + nt^b \ldots \qquad (1)$$

La première partie de la valeur de v représente le refroidissement par rayonnement, et la seconde celui qui est dû au contact du gaz environnant. Les quantités a et b sont les mêmes pour tous les corps et pour tous les gaz dans lesquels ils se refroidissent; la première est égale à 1,0077, et la seconde à 1,233. Le coefficient m dépend de la nature et de l'étendue de la surface du corps, ainsi que de la température de l'enceinte; le coefficient n dépend de la nature et de l'élasticité du gaz environnant et de l'étendue de la surface du corps.

Cette formule représente avec une grande exactitude les lois du refroidissement des corps sur lesquels on a opéré, et pour les circonstances variées dans lesquelles ils ont été placés.

1806. Mais malgré l'autorité des noms de Petit et Dulong, il est impossible d'admettre que les lois du refroidissement de tous les corps, dans toutes les circonstances, soient exactement les mêmes, ou du moins qu'elles

ne dépendent que des éléments que renferme la formule. Car, d'abord, la forme du corps doit avoir une certaine influence, parce que la vitesse de l'air et la durée de son contact avec la surface du corps varient nécessairement avec la forme de cette surface. La position du corps peut même en avoir une très-grande; par exemple, un même thermomètre, à très-long réservoir, placé dans les mêmes circonstances, ne se refroidit pas avec la même vitesse quand il est horizontal et quand il est vertical. En second lieu, le pouvoir absorbant d'un même corps variant avec la nature des rayons de chaleur de même intensité qu'il reçoit, la nature des parois de l'enceinte dans laquelle les corps se refroidissent, doit avoir une influence notable sur la vitesse du refroidissement. D'après M. Melloni, quand des rayons de même intensité arrivent sur deux surfaces, l'une couverte de noir de fumée, l'autre de carbonate de plomb, le rapport des quantités de chaleur absorbées est successivement de 0,80; 0,54, et 0,43, quand les rayons émanant d'une lampe, arrivent librement ou après avoir traversé une lame de verre incolore ou une plaque d'alun.

Ainsi on ne peut pas admettre que les lois du refroidissement de Petit et Dulong soient rigoureusement applicables à tous les corps et dans toutes les circonstances; il est cependant probable que dans les cas même les plus exceptionnels, les vitesses réelles diffèrent peu de celles qui résultent de la formule.

1807. Mais comme la formule (1) est trop compliquée pour les usages de l'industrie, nous chercherons à la remplacer par une plus simple, d'une application plus commode dans la pratique; et pour cela, nous rapporterons d'abord un tableau qui renferme les vitesses du refroidissement d'un même thermomètre, quand la boule est nue, argentée et couverte de noir de fumée.

EXCÈS DE TEMPÉRATURE.	THERMOMÈTRE VITREUX.			THERMOMÈTRE ARGENTÉ.			THERMOMÈTRE RECOUVERT DE NOIR DE FUMÉE.		
	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.	Refroidissement total.	Refroidissement dû au rayonnement.	Refroidissement dû au contact de l'air.
260°	24°,42	16°,32	8°,10	10°,96	2°,86	8°,10	32°,02	23°,92	8°,10
240	21,12	13,71	7,41	9,82	2,41	7,41	27,48	20,07	4,41
220	17,92	11,31	6,61	8,59	1,98	6,61	23,10	16,49	6,61
200	15,30	9,38	5,92	7,57	1,65	5,92	19,66	13,74	5,92
180	13,04	7,85	5,19	6,57	1,38	5,19	16,28	11,09	5,19
160	10,70	6,20	4,50	5,59	1,09	4,50	13,57	9,07	4,50
140	8,75	5,02	3,73	4,61	0,88	3,73	11,06	7,33	3,73
120	6,82	3,71	3,11	3,80	0,69	3,11	8,85	5,74	3,11
100	5,56	3,03	2,53	3,06	0,53	2,53	6,94	4,41	2,53
80	4,15	2,22	1,93	2,32	0,39	1,93	5,17	3,24	1,93
60	2,86	1,53	1,33	1,60	0,27	1,33	3,67	2,24	1,33
40	1,74	0,95	0,79	0,96	0,17	0,79	2,20	1,41	0,79
20	0,77	0,43	0,34	0,42	0,08	0,34	1,00	0,66	0,34
10	0,37	0,22	0,15	0,19	0,04	0,15	0,48	0,33	0,15

1808. On voit, d'après ce tableau, combien la loi de Newton est inexacte; car, par exemple, d'après cette loi, la vitesse du refroidissement du verre pour un excès de température de 10 degrés étant 0,37, pour 260 degrés elle devrait être de $0,37 \times 26 = 9,62$, tandis que l'expérience donne 24,42.

1809. La vitesse du refroidissement dû au contact de l'air étant indépendante de la nature du corps, et celle qui provient du rayonnement étant proportionnelle au pouvoir émissif, il serait facile de former des tableaux analogues au précédent, pour tous les corps dont on connaîtrait le pouvoir émissif comparé à celui du verre, de l'argent ou du noir de fumée. Et en déterminant pour chacun de ces corps, la quantité de chaleur émise pendant un certain temps et pour une certaine différence de température, on en déduirait facilement celle qu'ils émettraient pour toute autre différence, attendu que les quantités de

chaleur émises sont proportionnelles aux vitesses du refroidissement.

1810. Mais on peut déduire du tableau précédent des formules très-simples, qui présentent une approximation bien suffisante pour la pratique.

La vitesse du refroidissement croissant plus rapidement que les excès de température, on peut la représenter par la formule

$$v = At\,(1+mt) \ldots\ldots (2),$$

dans laquelle m est un coefficient constant, qu'on déterminera en faisant satisfaire l'équation aux résultats obtenus pour $t = 10^\circ$, et pour $t = 260^\circ$.

On trouve ainsi.

Pour le verre.....	$v = At(1+0{,}0065t)\ldots$	(3)
Pour l'argent.....	$v = At(1+0{,}0051t)\ldots$	(4)
Pour le noir de fumée..	$v = At(1+0{,}0066t)\ldots$	(5)

Dans les points intermédiaires ces formules donnent des résultats peu différents de ceux qui sont consignés dans le tableau précédent.

Pour des températures comprises entre 0 et 20°, les facteurs de At seraient : pour le verre, $1+0{,}0039t$; pour l'argent, $1+0{,}011t$; et pour le noir de fumée, $1+0{,}0043t$.

Les pouvoirs rayonnants des métaux polis étant très-peu différents, et ceux des métaux qui sont ternes ou couverts de divers enduits non brillants différant aussi très-peu les uns des autres et de celui du noir de fumée, la seconde formule sera applicable à tous les métaux polis, et la dernière à tous les métaux ternes ou couverts de différents enduits.

1811. Les valeurs A peuvent être déterminées de manière que v représente les quantités d'unités de chaleur perdues par heure et par mètre carré. Pour cela il suffit d'observer le temps du refroidissement d'un vase de différente nature plein d'eau. Je rapporterai seulement les expériences faites sur un vase de fer-blanc. La durée du refroidissement de 31° à 29 a été de 19′,45″, et, par conséquent, de 9′.52″ = 9′,87 pour 1°. Le poids du vase était de $0^k{,}516$, y compris le poids de l'eau équivalent à celui de l'enveloppe multiplié par la chaleur spécifique du fer; la surface du vase était de $0^m{,}038$, et la température extérieure de 14°. D'après cela, la quantité de chaleur qui serait transmise par mètre carré, par heure, et pour une différence de température

de 1°, serait égale à $0,516.60 : (9,87.16.0,038) = 5,16$; et la valeur de A sera égale à $5,16 : (1 + 0,011 \times 16) = 4,38$.

1812. On obtiendrait un résultat plus exact en employant la formule

$$v = \frac{(\log T - \log T')2,3025.3600.p}{t.S}, \qquad (6)$$

dans laquelle T et T′ sont les excès des températures observées sur celle de l'air; t, le temps en secondes du refroidissement; p, le poids du vase; et S, sa surface. Mais quand les températures observées sont très-rapprochées, qu'elles ne diffèrent que de deux ou trois degrés, la première méthode, qui est plus simple, conduit à très-peu près aux mêmes résultats.

1813. Des expériences faites avec un vase de tôle plein d'eau, dont le refroidissement a été observé lorsqu'il était recouvert de différentes enveloppes minces, ont donné les résultats suivants pour la quantité de chaleur qui serait transmise par heure, par mètre carré, et pour une différence de 1°. Les expériences ont eu lieu lorsque la différence des températures du liquide et de l'air était de 16°.

Tôle mince	8,2	unités de chaleur.
Papier blanc fin	8,70	
Papier couvert d'une couche de minium	9,09	
Papier noirci avec de l'encre	8,70	
Noir de fumée déposé par une flamme	8,93	
Toile de coton	9, »	

On voit, d'après ces résultats, que pour toutes les matières dont la tôle a été recouverte, la transmission est très-voisine de 9; alors pour tous ces corps la valeur de A est de 8,48.

1814. Pour la tôle, la transmission est plus petite et la valeur de A est seulement de 7,72. Deux expériences faites sur un vase de fonte ont donné pour ce dernier métal $A = 7,70$, et $A = 7,65$. Ainsi on peut prendre $A = 7,70$ pour la tôle et la fonte renfermant de l'eau. Ce nombre s'accorde très-bien avec les résultats obtenus dans le chauffage par la vapeur; car on sait que pour une différence de 85°, chaque mètre carré de surface de fonte condense $1^k,80$ de vapeur, ou émet $1,80 \times 550 = 990$ unités de chaleur; or, la formule (5) donne, $7,70 \times 85\,(1 + 0,0066 \times 85) = 1021$; la différence est aussi petite qu'on pouvait l'espérer, à cause de l'air que renferment toujours les tuyaux et qui ralentit la condensation de la vapeur.

Pour le verre, les matières vitreuses, et les corps couverts de vernis, j'ai trouvé que A était à peu près égal à 6,40.

1815. Quoique les corps n'aient été rangés qu'en trois catégories, il est évident qu'il y en a un grand nombre pour lesquels la valeur de A serait comprise entre celles que nous venons de donner. Par exemple, si un métal très-brillant s'oxydait progressivement, la valeur de A correspondante, qui était d'abord égale à 4,38, passerait d'une manière continue à 7,70, et même ce coefficient pourrait atteindre la valeur qui correspond au noir de fumée. D'ailleurs, les irrégularités de la surface pourraient réellement augmenter indéfiniment la transmission, si on ne comptait pas la surface des aspérités, et c'est ce qui arrive quand les aspérités ne dépassent pas une certaine limite.

1816. *Influence des enveloppes multiples.* Lorsqu'un vase rempli d'eau est environné de plusieurs enveloppes fermées de toutes parts, dont l'air ne peut pas se renouveler, la vitesse du refroidissement diminue avec le nombre des enveloppes suivant une loi qu'il est important de connaître.

Considérons un vase métallique plein d'eau, environné d'une enveloppe de même nature, fermée de toute part de manière que l'air qu'elle contient ne puisse pas se renouveler, et assez éloignée du vase pour que l'air s'y meuve facilement. Désignons par S et S′ les surfaces du vase et de l'enveloppe, et par t et t' les excès de leur température sur celle de l'air environnant. Les quantités de chaleur perdues par le vase et l'enveloppe seront égales; et comme, d'après la loi de Newton, elles sont représentées par $KS(t-t')$, et par $KS't'$, K étant la quantité de chaleur perdue par l'unité de surface pendant l'unité de temps et pour une différence de température de 1°, on aura

$$S(t-t') = S't'; \quad \text{d'où} \quad t' = t\frac{S}{S+S'}. \tag{7}$$

Alors la vitesse V du refroidissement du vase qui était représenté par KSt, lorsqu'il était nu, deviendra avec l'enveloppe

$$V = KS.\ \frac{S't}{S+S'}. \tag{8}$$

1817. Si le vase était recouvert de deux enveloppes, en désignant par S, S', S'', la surface du vase et celles des deux enveloppes; par t, t', t'', les excès de leurs températures sur celle de l'air extérieur; les quantités

de chaleur transmises, du vase à la première enveloppe, de celle-ci à la suivante, et de cette dernière à l'air extérieur, seraient KS $(t-t')$; KS$'$ $(t-t'')$, et KS$''t''$, et on aurait

$$\left.\begin{array}{l} S(t-t') = S''t'' \\ S'(t'-t'') = S''t'' \end{array}\right\}; \text{ d'où l'on tire, } t'' = t\,\frac{SS'}{SS'' + SS' + S'S''},$$

et le refroidissement du vase, qui à l'air libre serait KSt, deviendra

$$V = KSt \,.\, \frac{S'S''}{SS'' + SS' + S'S''}. \tag{9}$$

1818. Si le vase était recouvert de trois enveloppes, on trouverait de même que son refroidissement serait représenté par

$$V = KSt.\ \frac{S'S''S'''}{SS'S'' + SS''S''' + S'S''S''' + SS'S'''}. \tag{10}$$

1819. Pour un nombre n d'enveloppes, la vitesse du refroidissement serait égale à la vitesse du refroidissement à l'air libre, multiplié par le produit des surfaces de toutes les enveloppes, et divisé par la somme des produits différents $n-1$ à $n-1$ des surfaces du vase et des enveloppes.

1820. J'ai fait quelques expériences pour vérifier l'exactitude de ces formules, et j'ai obtenu des résultats qui s'accordent assez bien avec le calcul. J'ai d'abord employé un vase de fer-blanc, cylindrique et terminé par deux cônes; les enveloppes avaient la même forme, et leur distance était à peu près de $0^m,005$. Les surfaces du vase et des enveloppes étaient dans le rapport des nombres 260, 320, 420, 480 et 560. Dans les mêmes circonstances, les vitesses du refroidissement du vase nu, et recouvert successivement de 1, 2, 3 et 4 enveloppes, ont été

1; 0,60; 0,43; 0,36; 0,30.

En opérant avec le même vase recouvert d'un vernis noir, d'abord nu, et ensuite recouvert de 1, 2, 3 et 4 enveloppes en tôle, de même forme et de mêmes surfaces que les vases de fer-blanc des expériences précédentes, les vitesses du refroidissement ont été

1; 0,59; 0,44; 0,34; et 0,31.

Tandis que les vitesses qui résulteraient des formules, sont

1; 0,57; 0,41; 0,33; et 0,28.

1821. Si les surfaces des enveloppes différaient peu les unes des autres, en les regardant comme égales, la différence des températures de deux enveloppes consécutives serait constante, et on aurait

$$t' = t : (n+1); \quad \text{d'où} \quad V = KSt \cdot \frac{1}{n+1}; \ldots \qquad (11)$$

et pour 1, 2, 3 et 4 enveloppes, les vitesses relatives du refroidissement seraient $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}$.

1822. Quand les enveloppes ont des pouvoirs rayonnants très-différents, les calculs deviennent compliqués. Je rapporterai seulement une expérience faite sur le vase recouvert d'un vernis noir, et les enveloppes en fer-blanc dont j'ai déjà parlé; les vitesses du refroidissement du même vase nu, et environné de 1, 2, 3 et 4 enveloppes, ont été

1; 0,38; 0,35; 0,30; 0,25.

1823. Voici les résultats obtenus avec des enveloppes de verre. Un vase de fer-blanc ayant été exposé à l'air sans enveloppe, et ensuite sous une cloche de verre, les vitesses du refroidissement, dans les mêmes circonstances, ont été dans le rapport des nombres 1 et 0,78. La surface du vase était de $0^m,026$, et celle de la cloche de $0^m,032$. Pour le même vase recouvert de vernis noir et la même cloche, le rapport des vitesses du refroidissement a été celui de 1 à 0,50. Les résultats ont été sensiblement les mêmes pour les cloches de verre ayant $0^m,0446$ et $0^m,0611$. Pour une autre cloche de $0^m,1350$, le rapport précédent a été celui de 1 à 0,61. Ainsi on peut admettre que quand les corps ont un grand pouvoir rayonnant, la vitesse du refroidissement est diminuée presque de moitié par une enveloppe de verre dont la surface n'excède pas le triple de la surface du corps.

1824. Le même vase de fer-blanc recouvert d'un vernis noir, étant environné successivement de 1, 2, 3 et 4 cloches de verre séparées par un intervalle de $0^m,005$, les vitesses de refroidissement, dans les mêmes circonstances, ont été 1; 0,50; 0,41; 0,34; et 0,30. En plaçant autour du vase les deux dernières cloches, la vitesse relative du refroidissement a été de 0,42.

Chacune des cloches de verre employées dans ces expériences, était percée au sommet d'un orifice à travers lequel passait la tige du thermomètre du vase plein d'eau, et reposait sur une table de bois recou-

verte d'une lame de ouate; on avait pris les précautions nécessaires pour éviter le passage de l'air par les orifices des cloches.

1825. Si les enveloppes étaient assez rapprochées pour que l'air ne pût pas circuler dans les intervalles qui les séparent, ou si on avait fait le vide entre toutes les enveloppes, la vitesse du refroidissement serait beaucoup plus petite que dans le cas que nous avons examiné, parce que la transmission de la chaleur n'aurait lieu que par rayonnement. Dans le cas dont il s'agit, en désignant par R la vitesse du refroidissement due au rayonnement, la vitesse totale étant toujours représentée par K : pour une seule enveloppe on aurait

$$SR(t-t') = S'K\,t'; \quad \text{d'où } t' = \frac{SRt}{S'K+SR}, \quad \text{et} \quad V = \frac{SS'KRt}{S'K+SR}. \tag{12}$$

Pour deux enveloppes on aurait

$$\left.\begin{array}{l} SR(t-t') = KS''t'' \\ S'R(t'-t'') = KS''t'' \end{array}\right\}; \text{ d'où } t'' = \frac{SS'Rt}{KS''(S+S')+RSS'}; \text{ et } V = \frac{SS'S''KRt}{KS''(S+S')+RSS'}. \tag{13}$$

Pour trois enveloppes on aurait

$$V = \frac{SS'S''S'''KRt}{KS'''(SS''+S'S''+SS')+RSS'S''}. \tag{14}$$

Et pour un nombre quelconque n d'enveloppes, en désignant par $S^{(n)}$ la dernière enveloppe, par Σ la somme des produits de toutes les surfaces $S, S', S''\ldots. S^{(n-1)}$, $n-1$ à $n-1$, on aurait

$$V = \frac{SS'S''\ldots S^{(n)}.KRt}{KS^{(n)}\Sigma + R.SS'S''S^{(n-1)}}. \tag{15}$$

Mais si les enveloppes sont très-rapprochées, chacune d'elles différera peu de celle qui précède et de celle qui suit; et si elles sont très-nombreuses, les termes dont Σ se compose ne différeront pas sensiblement les uns des autres; alors on aura

$$\Sigma = nS'S''S'''\ldots S^{(n-1)}; \quad \text{et} \quad SS'S''\ldots S^{(n-1)} = S'S''S'''\ldots S^{(n)};$$

et la formule précédente se réduira à

$$V = \frac{SKRt}{Kn+R}; \quad \text{et à} \quad V = \frac{SRt}{n}. \tag{16}$$

Car nK est alors très-grand par rapport à R. Ainsi dans ce cas, la vitesse du refroidissement est en raison inverse du nombre des enveloppes.

Cette formule est la même que celle à laquelle on aurait été conduit si on avait supposé toutes les surfaces égales. On aurait pu prévoir d'avance qu'il devait en être ainsi ; car la transmission de la chaleur d'une enveloppe à la suivante, étant la même pour toutes, les excès de température doivent être en raison inverse de l'étendue des enveloppes, et le décroissement progressif de la différence des températures des enveloppes compense l'accroissement de leurs surfaces.

Si les enveloppes étaient très-rapprochées et en métal poli, pour des températures peu élevées, on aurait sensiblement $R = 0{,}2K$; et pour 1, 2, 3, 4 et 5 enveloppes, les vitesses du refroidissement seraient

$$1;\ 0{,}54;\ 0{,}37;\ 0{,}28;\ 0{,}23.$$

1826. *Influence des enveloppes ouvertes à la partie supérieure et à la partie inférieure.* Les enveloppes dont il est question, ralentissent le refroidissement dû au rayonnement, mais elles accélèrent celui qui provient du contact de l'air, en augmentant la vitesse de sa circulation. Pour reconnaître l'influence de ces enveloppes sur le refroidissement total, j'ai observé dans les mêmes circonstances le refroidissement d'un vase noirci, quand il était nu, et successivement environné de 1, 2, 3 et 4 cylindres de tôle ouverts par les deux bouts, ayant des diamètres croissants de $0^m{,}01$. Ces cylindres étaient suspendus de manière que l'air pût facilement y pénétrer. Pour un même abaissement du thermomètre du vase et la même température extérieure, il a fallu $13',3''$; $19',57''$; $16',46''$; $15',44''$; et $15',40''$. Avec un cylindre de fer-blanc dont le diamètre excédait celui du vase de $0^m{,}03$, la durée du refroidissement a été de $17',44''$.

Il résulte de là, que pour des corps ayant un grand pouvoir émissif, des enveloppes cylindriques de même hauteur, ouvertes par les deux bouts, ralentissent le refroidissement. Mais il n'en serait plus ainsi, si la vitesse de l'air, dans les espaces annulaires formés par le corps et les enveloppes, était augmentée par le prolongement des enveloppes, ou par toute autre cause; la vitesse du refroidissement pourrait non-seulement dépasser celle du corps nu, mais elle pourrait augmenter indéfiniment avec la vitesse de circulation de l'air.

1827. *Transmission de la chaleur à travers les corps mauvais conducteurs.* En désignant par C la quantité d'unités de chaleur qui traverserait dans une heure une plaque homogène, ayant 1 mètre carré

de surface, dont l'épaisseur serait égale à 1 mètre, et dont les deux faces seraient maintenues à des températures constantes qui différeraient de 1°; par V la quantité de chaleur qui traverserait une plaque ayant une surface égale à S, une épaisseur e, et dont les faces seraient maintenues à des températures constantes t et t', on sait qu'on a (699)

$$V = SC.\frac{t-t'}{e}. \tag{17}$$

L'exactitude de cette relation a été constatée par l'expérience (702).

1828. Si l'une des faces de la plaque étant maintenue à une température constante, l'autre était exposée à l'air, la température de cette face serait inconnue; mais on pourrait déterminer la quantité de chaleur transmise de la manière suivante. Représentons par K la quantité de chaleur que perdrait par heure par mètre carré, et pour une différence de température de 1°, la surface exposée à l'air; si l'excès de la température de cette surface sur celle de l'air est peu considérable, sa perte pour l'excès t' sera KSt', et on aura

$$KSt' = \frac{CS(t-t')}{e}; \quad \text{d'où} \quad t' = \frac{Ct}{Ke+C}; \tag{18}$$

$$V = \frac{CKSt}{Ke+C}. \tag{19}$$

1829. Cette dernière formule est relative à un corps compris entre deux surfaces planes égales et parallèles, en supposant qu'il n'y ait pas de chaleur transmise latéralement. Mais elle est également applicable à un corps homogène renfermé entre deux surfaces cylindriques, concentriques, et en général à une enveloppe ayant partout la même épaisseur. En effet, considérons un corps terminé par deux surfaces planes, égales et parallèles, latéralement par des plans perpendiculaires aux premiers, et supposons que la transmission de la chaleur n'ait lieu que par les deux premières faces. Si on conçoit le corps divisé en une infinité de tranches parallèles à ces faces, comme les quantités de chaleur qui traversent chaque tranche à chaque instant sont égales entre elles, il s'ensuit que la différence des températures des surfaces de chaque tranche sera constante, et que la température décroîtra uniformément dans l'épaisseur de la plaque. Supposons maintenant que le corps ait la forme

d'un cylindre creux, et que son épaisseur soit divisée en tranches annulaires d'égale épaisseur par des surfaces cylindriques, concentriques; la même quantité de chaleur devant encore traverser au même instant toutes les tranches, la différence des températures des surfaces des tranches devra décroître de l'intérieur à l'extérieur, et pour deux tranches quelconques ces différences seront en raison inverse de leurs surfaces intérieures. Par conséquent, en désignant par S et S′ la surface intérieure et la surface extérieure du vase, et par t' la température extérieure d'une plaque plane de même nature et de même épaisseur que le vase ayant une surface égale à S et dont l'autre surface est maintenue à la même température que la surface intérieure du vase, la température de la surface extérieure du vase sera $t'.S:S'$, et la perte de chaleur étant proportionnelle à la surface, sera $t'S$, c'est-à-dire, la même que celle d'une plaque plane de même épaisseur ayant une surface égale à celle du cylindre qui forme l'intérieur du vase. Ce résultat peut d'ailleurs se déduire de l'équation à laquelle nous avons été conduits (1825) pour le cas d'un grand nombre d'enveloppes concentriques, très-rapprochées, et entre lesquelles la transmission de la chaleur n'a lieu que par rayonnement, car ce cas est le même que celui qui nous occupe maintenant.

1830. Le principe que nous venons d'établir conduit à une méthode très-simple pour déterminer les constantes K et C de la formule (19). Il suffit pour cela d'observer le refroidissement de l'eau renfermée dans deux vases de même nature et d'inégale épaisseur. En désignant par t la durée du refroidissement en secondes de l'excès de température T à l'excès de température T′ du liquide sur l'air, par p le poids de l'eau que contient le vase, et par S la surface intérieure du vase, la quantité A de chaleur qui passerait par heure, par mètre carré et pour une différence de température de 1° du liquide et de l'air, sera donnée par la formule

$$A = \frac{p\,(T-T').2.3600}{(T+T').t.S.} \cdots \qquad (20)$$

Si les températures T et T′ différaient beaucoup, il faudrait employer la formule de l'article 1811. En désignant par A′ la transmission du second vase dans les mêmes circonstances, on aura

$$A = \frac{CK}{Ke+C} \cdots \quad (21). \qquad A' = \frac{CK}{Ke'+C} \cdots \quad (22)$$

d'où l'on tire

$$C = \frac{AA'(e-e')}{A'-A}, \ldots \quad (23) \qquad \text{et} \qquad K = \frac{AA'(e-e')}{Ae-A'e'} \ldots \quad (24)$$

1831. Il est important de remarquer, que pendant le refroidissement des vases, leur surface extérieure transmet la chaleur qui sort de l'eau et celle qui provient du refroidissement du vase. Mais cette dernière circonstance est sans influence; car à chaque instant on peut considérer la différence de température de deux éléments consécutifs du vase comme composée de deux parties, l'une qui produit la transmission de la chaleur qui provient de l'eau, l'autre qui conduit la chaleur qui provient du refroidissement des éléments qui précèdent, et par conséquent le refroidissement de l'eau est le même que si le vase conservait la même température.

1832. Si la constante K relative à la surface d'un vase était connue, une seule observation du refroidissement du vase suffirait pour déterminer C, dont la valeur serait donnée par la formule

$$C = \frac{AKe}{K-A} \ldots \quad (25)$$

Cette dernière formule conduit à un mode d'expérience beaucoup plus commode que le premier, parce qu'il n'exige qu'un seul vase. Il consiste à observer le refroidissement d'un vase, d'abord lorsque sa surface est nue, et ensuite lorsqu'elle est recouverte d'une enveloppe mince, par exemple de papier ou d'une feuille d'étain, pour laquelle on connaît la valeur de K; la seconde expérience donne immédiatement la valeur de C, et de la première on déduit ensuite la valeur de K qui convient à la surface du vase.

1833. J'ai fait un grand nombre d'expériences pour vérifier l'exactitude de ces formules, en observant les quantités de chaleur A, A′ et A″ transmises à travers trois vases de même nature et de différentes épaisseurs; la transmission de l'un des vases déduite des valeurs de K et de C, obtenues au moyen des expériences faites sur les deux autres, s'est toujours trouvée d'accord avec la transmission observée, à moins de 3 ou 4 centièmes de sa valeur totale. J'ai fait aussi des expériences sur un même vase couvert successivement de différentes enveloppes minces pour lesquelles je connaissais la valeur de K, et toujours j'ai obtenu sensiblement les mêmes valeurs pour C.

1834. Mais ces expériences exigent de nombreuses précautions, sans lesquelles on n'obtiendrait que des résultats très-inexacts.

Les vases doivent être remplis d'eau à une température beaucoup plus élevée que celle à laquelle on observe le refroidissement, afin que lors des observations, tous les points du vase aient la température qui leur convient. Lorsque les vases ont une grande épaisseur, il faut même les remplir plusieurs fois d'eau bouillante, et n'observer le refroidissement que longtemps après.

Le thermomètre qui plonge dans le vase doit avoir un réservoir d'une hauteur égale à celle de l'eau dans le vase; car, malgré les mouvements qui se produisent dans la masse liquide pendant le refroidissement, toujours les couches supérieures sont à une température plus élevée que les autres. Le refroidissement doit être très-lent, et par conséquent le volume d'eau considérable; dans toutes mes expériences il n'a jamais été moindre de 300 grammes, et il a souvent dépassé 1 kilogramme. Il faut aussi que les degrés du thermomètre soient assez étendus pour qu'on puisse estimer $\frac{1}{20}$ de degré.

On doit observer le refroidissement pour des excès de température sensiblement égaux, afin qu'on puisse regarder les valeurs de K dans les deux expériences comme égales. Enfin, il faut abriter par un écran le vase et le thermomètre plongé dans l'air, afin d'éviter l'influence du voisinage de l'observateur.

1835. Malgré ces précautions, ce mode d'expériences présente encore plusieurs causes d'erreur. Il est difficile de bien apprécier la température de l'air qui environne l'appareil de refroidissement; et la vitesse du refroidissement est modifiée par les courants d'air et la présence de l'observateur, de sorte que deux expériences faites dans des circonstances en apparence identiques donnent des résultats qui diffèrent souvent de près de 0,1. En outre, la valeur de la constante K change un peu avec l'excès de la température de la surface extérieure sur celle de l'air, et cette différence varie nécessairement avec les épaisseurs des vases, même quand la différence de température de l'eau et de l'air est constante.

On évite les premières causes d'erreur, en plaçant le corps qui se refroidit sous une cloche à double enveloppe, dont l'intervalle est rempli d'eau à la température ordinaire, et qui est percée au sommet d'une ouverture à travers laquelle passe la tige du thermomètre. La surface inté-

rieure de la cloche doit être couverte de papier dont le pouvoir émissif diffère peu de celui des enduits dont sont revêtus les murs des appartements. L'appareil doit être disposé de manière que l'air intérieur ne se renouvelle pas, et que l'on puisse agiter de temps en temps l'eau que contient l'enveloppe, dont un thermomètre très-sensible donne à chaque instant la température.

Quant à la dernière cause d'erreur, la variation de la valeur de K, on ne peut pas l'éviter, mais on peut la calculer et corriger les résultats obtenus. Cependant, comme en général la variation dont il s'agit est très-faible, on peut la négliger.

1836. Les valeurs des constantes K et C étant nécessaires dans un grand nombre de circonstances, je les ai déterminées pour les corps dont on se sert habituellement.

1837. Pour la pierre à bâtir, j'ai employé des vases tournés, parfaitement cylindriques, dont les épaisseurs étaient de $0^m,019$; $0^m,0385$; $0^m,058$; la hauteur à peu près de $0^m,20$, et le diamètre intérieur de $0^m,10$. Ils avaient été peints à l'huile à l'intérieur et fermés avec du liége; ils reposaient sur des lames épaisses de liége, et étaient couverts par des plaques de liége et de ouate qui interceptaient toute transmission de chaleur par les bouts. Pour le bois, j'ai employé des vases de mêmes dimensions, mais fermés en dessus et en dessous par des calottes hémisphériques. Pour quelques corps, je me suis servi d'un seul vase, en observant le refroidissement quand la surface était nue et couverte d'une enveloppe mince dont la transmission m'était connue. Pour les briques, j'ai employé un vase de fer-blanc rectangulaire, couvert de briques réunies par de la terre, et on a séché la masse en remplissant, souvent et pendant un grand nombre de jours, le vase d'eau bouillante. Pour le plâtre, j'ai recouvert deux vases de fer-blanc, chacun d'une enveloppe d'épaisseur différente de cette matière, et leur refroidissement n'a été observé que quand le plâtre a été parfaitement desséché, par la méthode employée pour les revêtements de briques. Enfin la transmission de la chaleur à travers les corps en poudre ou en filaments a été déterminée en plaçant ces matières entre le vase plein d'eau et une enveloppe concentrique en tôle ou en fer-blanc, pour lesquels les valeurs de la constante K étaient connues. La plupart de ces expériences ont été faites sur des vases placés dans une enceinte à une température constante; et pour quelques-unes seulement j'ai corrigé les

résultats de l'erreur provenant de l'inexactitude de la loi de Newton relative au refroidissement. Mais il est important de remarquer que par la méthode indiquée d'abord, on arrive à des résultats assez approchés pour la pratique, attendu que les différences qu'on rencontre dans la constitution physique des corps, occasionnent dans leur conductibilité des variations plus grandes que les erreurs qu'on peut commettre.

1838. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus.

Pierre de liais, employée ordinairement à Paris, dans les constructions	K = 9. C = 0,8
Briques ordinaires	K = 9. C = 0,68
Plâtre ordinaire de construction	K = 8. C = 0,73
Bois de sapin	K = 8. C = 0,17
Bois de chêne	K = 8. C = 0,32
Bois d'acacia	K = 8. C = 0,26
Liége	K = 7. C = 0,093
Paille hachée	C = 0,07
Son	C = 0,100
Poussier de charbon de bois	C = 0,35
Poussier de coke	C = 0,44
Terre employée dans les constructions de fourneaux, parfaitement sèche	C = 0,27
Coton très-divisé	C = 0,035
Coton fortement comprimé	C = 0,170
Laine très-divisée	C = 0,063
Laine fortement comprimée	C = 0,136

Toutes ces matières sont supposées sèches. Lorsqu'elles sont humides, la valeur de C est plus grande, et augmente suivant une loi très-rapide avec la quantité d'eau qu'elles renferment.

1839. Reprenons maintenant la formule qui représente la transmission de la chaleur par mètre carré de surface.

$$V = \frac{CKt}{Ke + C}.$$

Lorsque le corps aura une grande faculté conductrice, et que Ke sera très-petit par rapport à C, la vitesse de la transmission se trouvera réduite à Kt, et sera par conséquent indépendante de la nature et de l'épaisseur des corps; c'est ce qui arrive pour tous les métaux. Considérons, par exemple, le plomb qui est le plus mauvais conducteur de tous les métaux; on a, pour ce métal (703), C = 13,8, et en prenant pour la valeur de K le chiffre 9, qui est celui qui correspond aux corps ternes, pour des valeurs de e comprises entre $0^m,001$ et $0^m,02$, les vitesses varieront

dans le rapport des nombres 13,98 à 13,809, ou de 1,012 à 1. Pour le fer on aurait $C = 28,82$; et dans les mêmes limites d'épaisseur, les quantités de chaleur transmises varieraient dans le rapport de 1,006 à 1. On voit, d'après cela, que la méthode que nous avons employée pour déterminer la conductibilité des corps mauvais conducteurs, ne pourrait pas servir pour déterminer celle des métaux, à moins qu'on n'employât des vases d'une très-grande épaisseur, parce que, dans le cas contraire, les valeurs de A et de A′ différeraient très-peu l'une de l'autre, et que la plus légère erreur sur l'estimation des températures en produirait une très-grande sur la valeur de C.

1840. Si maintenant nous supposons C très-petit, et l'épaisseur e assez grande pour que Ke soit très-grand par rapport à C, la valeur de V se réduira à $Ct:e$; elle sera par conséquent indépendante de la conductibilité de la surface, et en raison inverse de l'épaisseur. Mais comme la valeur de K n'est jamais inférieure à 4, il faudrait, même pour les corps qui conduisent le plus mal la chaleur, que l'épaisseur fût très-considérable pour que C fût très-petit par rapport à Ke. Par exemple, pour le coton cardé dans une enveloppe formée d'un métal poli et pour $e = 0^m,50$, on aurait $Ke = 2$, et $C = 0,05$.

1841. En substituant les différentes valeurs de K et de C dans la formule (19), on obtiendra des valeurs de V, qui seront suffisamment exactes, tant que l'excès de température de la surface extérieure du corps sur celle de l'air environnant ne dépassera pas 20 à 30°; mais pour des températures plus élevées, on approchera beaucoup plus de la réalité en se servant de la formule

$$V = \frac{mKCS}{mKe + C} \cdot t. \qquad \ldots . \qquad (26)$$

m étant égal à $1 + 0,0051t'$ pour les corps ayant le brillant des métaux polis, et à $1 + 0,0066t'$ pour les corps ternes ou couverts d'une enveloppe vitreuse ou de peinture, t' étant la température de la surface extérieure.

1842. *Influence des enveloppes formées de corps mauvais conducteurs, et séparées en plusieurs parties par des intervalles pleins d'air.* Considérons deux enveloppes de même nature, ayant chacune une épaisseur égale à e, et désignons par t, t', t'', et t''', les excès des températures des surfaces successives, sur celle de l'air, et par S la surface intérieure. D'après ce que nous avons vu précédemment, la quantité de chaleur

transmise sera la même que si toutes les surfaces étaient égales à S; alors, en conservant les notations déjà employées, les quantités de chaleur transmises à travers la première enveloppe, à travers l'intervalle qui sépare la première de la seconde, à travers la seconde, et par la surface libre, seront

$$\frac{SC(t-t')}{e};\quad SK(t'-t'');\quad \frac{SC(t''-t''')}{e};\quad \text{et}\quad SKt'''.$$

Et comme toutes ces quantités sont égales entre elles, on trouve

$$V=\frac{KSCt}{2(Ke+C)}. \tag{27}$$

S'il y avait n enveloppes égales, la vitesse du refroidissement serait

$$V=\frac{SCKt}{n(Ke+C)}. \tag{28}$$

Or, pour une muraille continue ayant une épaisseur égale à ne, on a

$$V=\frac{SCKt}{Kne+C}.$$

Ainsi le rapport des vitesses de transmission de la chaleur à travers la première et la seconde muraille est égal à

$$Kne+C:n(Ke+C).$$

Pour une muraille de 1 mètre d'épaisseur, en pierre, pour laquelle on a $K=9$, et $C=0{,}90$, et qui serait composée de 1, 2, 3, 4, 5..... 10, parties égales entre elles, la transmission de la chaleur sera représentée par les nombres

1; 0,91; 0,84; 0,78; 0,73; ..... 0,55.

On voit d'après cela que les vides laissés dans les murailles diminuent la transmission de la chaleur beaucoup moins qu'on ne le supposait.

Le décroissement sera évidemment d'autant plus rapide que C sera plus grand, et surtout que les intervalles seront plus petits, parce qu'alors l'air s'y mouvra plus difficilement.

1843. *Refroidissement d'un liquide contenu dans un vase métallique, plongé dans un liquide qui n'éprouve d'autres mouvements que ceux qui résultent de son échauffement.* Dans le cas que nous considérons maintenant, la nature et l'épaisseur du vase sont sans influence. D'après l'expérience, la loi du refroidissement varie beaucoup plus rapidement que

dans l'air, par l'excès de la température du liquide intérieur sur celle du liquide extérieur. Pour des différences de 10 et de 26°, elles sont dans le rapport de 20 à 93. En désignant par V la quantité de chaleur transmise par mètre carré, par heure et pour une différence de température t, les expériences satisfont assez exactement à la formule

$$V = 43t(1 + 0{,}105t). \quad \ldots . \quad (29)$$

Mais comme la température du vase n'a pas dépassé 40°, il ne faudrait pas appliquer la formule à une température plus élevée. Elle s'éloignerait surtout beaucoup de la réalité si le liquide environnant était porté à l'ébullition, parce que le renouvellement du liquide en contact avec la surface du vase, s'effectuerait bien plus rapidement par la formation de la vapeur que par les mouvements qui proviennent des variations de densité.

§ 2. — DISPOSITIONS PROPRES A RETARDER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.

1844. Lorsque les corps sont placés dans l'air, ils se refroidissent en communiquant la chaleur aux corps avec lesquels ils sont en contact, par le rayonnement de leurs surfaces, et par le contact et le renouvellement de l'air.

1845. Pour diminuer la transmission directe, il faut faire en sorte que les corps avec lesquels celui qui est échauffé se trouve en contact, soient autant que possible mauvais conducteurs; et il faut surtout éviter le contact des liquides qui, par leur grande capacité calorifique, par leur mobilité, et par leur évaporation, absorbent très-facilement la chaleur.

1846. Pour diminuer la perte de chaleur due au rayonnement, il faut employer des corps ayant un très-faible pouvoir émissif, tels que les métaux polis.

1847. Pour réduire la quantité de chaleur enlevée par le contact de l'air, qui, comme nous l'avons vu, est indépendant de l'état et de la nature de la surface des corps, il faudrait s'opposer au renouvellement de l'air qui environne le corps, en couvrant sa surface d'une enveloppe qui ne serait ouverte que par le bas.

1848. Mais, de tous les moyens qu'on peut employer, des enveloppes formées de matières conduisant mal la chaleur et renfermées dans des surfaces métalliques brillantes, sont les plus efficaces. Les enveloppes

multiples sont aussi très-avantageuses. Les nombres que nous avons donnés dans le paragraphe précédent feront facilement connaître, dans tous les cas qui peuvent se présenter, quelles sont les substances qu'il convient le mieux d'employer, et quelles seront les pertes de chaleur pour une différence donnée de température entre le corps et l'air extérieur.

1849. Supposons, par exemple, que de la vapeur destinée à une machine ou à un chauffage, soit conduite par un tuyau de fer ayant 1 mètre carré de surface, l'air environnant étant à 15°. La quantité de chaleur perdue par heure, sera égale à peu près à 1000 unités de chaleur. Si on environne le tuyau de bois de sapin ayant 0,02 d'épaisseur, la perte de chaleur sera réduite à $CKSt : (Ke + C)$; expression dans laquelle il faudra faire $S = 1$, $t = 85$, $e = 0{,}02$, $K = 8$, et $C = 0{,}17$; on trouve alors à peu près 346. Si le tuyau était placé dans un autre en fer-blanc, renfermant du coton cardé d'une épaisseur de 0,05, on aurait $C = 0{,}035$, $K = 4{,}60$, et on trouverait $V = 71$.

Pour les fourneaux en briques, en supposant la surface intérieure du foyer et des carneaux à une température moyenne de 500°, on a $C = 0{,}68$, $K = 9$; et les pertes de chaleur par mètre carré de surface intérieure, par heure, et pour des épaisseurs de briques de $0^m{,}10$, $0^m{,}20$, $0^m{,}30$, $0^m{,}40$, $0^m{,}50$, seront de

1936; 1233; 905; 715; 590.

Ainsi on voit qu'il y a un très-grand avantage à donner une grande épaisseur aux maçonneries des fourneaux. Nous avons reconnu précédemment (1842) que les vides qu'on laisse entre les briques ne diminuent que fort peu le refroidissement.

1850. Toutes les dispositions dont nous venons de parler seraient applicables au cas où un corps, étant à une température inférieure à celle de l'air, on voudrait ralentir son échauffement. Nous parlerons des dispositions employées pour la conservation de la glace, lorsqu'il sera question des différents procédés dont on peut se servir pour obtenir de très-basses températures.

§ 3. — DISPOSITIONS PROPRES A ACCÉLÉRER LE REFROIDISSEMENT DES CORPS.

1851. Lorsque le corps est solide, ou liquide, mais contenu dans un

vase fermé, et qu'il doit être refroidi dans l'air, on augmente la vitesse du refroidissement en donnant à la surface du corps ou du vase un grand pouvoir émissif par un enduit terne. On augmente aussi le refroidissement du corps en accélérant le renouvellement de l'air à sa surface, par une cheminée placée au-dessus de lui, ou en produisant une vive agitation dans l'air qui l'environne.

1852. Quand le corps peut être plongé dans l'eau, et qu'on peut disposer d'une masse assez grande de ce liquide, il y a un grand avantage, sous le rapport du temps, à effectuer son refroidissement dans l'eau; car, pour une différence de température de 20°, les vitesses du refroidissement dans l'air et dans l'eau, d'un vase plein d'eau dont la surface est terne, sont représentées (1813) et (1843) par les nombres 160 et 2666. Une vive agitation du liquide augmenterait encore de beaucoup la vitesse du refroidissement.

1853. Quand le corps est liquide, vaporisable à une température inférieure à celle de son ébullition, et qu'on ne craint pas d'en perdre une partie, le mode de refroidissement le plus puissant est l'évaporation; et les circonstances qui favorisent l'évaporation sont 1° une grande surface libre du liquide et 2° un renouvellement rapide de l'air en contact avec le liquide.

Après avoir posé les principes généraux qui doivent servir de guide dans tous les cas, nous examinerons quelques dispositions particulières.

1854. L'acide sulfurique, tel qu'il sort des chambres de plomb dans lesquelles il a été produit, est d'abord rapproché dans des chaudières de plomb, et on termine sa concentration dans de grands vases de platine, disposés de manière qu'on puisse recueillir et condenser les vapeurs qui se dégagent. Lorsque le liquide a acquis la densité convenable, il faut l'enlever rapidement, afin que les opérations puissent se succéder après de courtes interruptions, non-seulement pour éviter une perte de combustible, mais pour que l'intérêt du capital du vase de platine qui dépasse souvent 40,000 francs, se porte sur une plus grande masse de produits. Les fig. 5 et 6 (pl. 107) représentent une coupe verticale et une projection horizontale de l'appareil employé pour refroidir et enlever de l'alambic en platine, l'acide sulfurique après sa concentration. L'appareil de décantation se compose d'un tube A en platine, plongeant jusqu'au fond de la chaudière; ce tube est recourbé comme un siphon; à la partie supé-

rieure il est garni de deux entonnoirs C et C′ qui peuvent se fermer à volonté au moyen de bouchons coniques à tiges; au delà, la branche extérieure du siphon se divise en deux autres, qui se réunissent à leur extrémité en une seule terminée par un robinet en platine. La branche extérieure du siphon est placée dans une bâche pleine d'eau, alimentée d'eau froide d'une manière continue, par un tube qui débouche à sa partie inférieure, et dont l'eau chaude s'écoule aussi d'une manière continue, par un autre tube placé à la partie supérieure. Pour amorcer le siphon, on verse de l'acide sulfurique par l'entonnoir C′, le robinet D étant fermé; l'air se dégage par l'entonnoir C. Lorsque le tube est rempli, on met sous le robinet D, les vases qui doivent recevoir l'acide; et après avoir mis en place les soupapes des entonnoirs C et C′, on ouvre le robinet D, et en même temps les robinets d'amission de l'eau froide et de départ de l'eau chaude.

1855. Dans les brasseries, il est important d'accélérer autant que possible le refroidissement du moût, afin de déterminer promptement la fermentation, car un refroidissement trop lent nuit à la qualité de la bière. Autrefois on se contentait de placer le moût dans de grandes caisses d'une petite profondeur et d'une grande étendue. On accélérerait beaucoup le refroidissement, si par un moyen quelconque on favorisait le renouvellement de l'air en contact avec la bière; par exemple, en plaçant à la surface du liquide une roue à ailes planes, disposées comme celles d'un ventilateur à force centrifuge, dont l'axe serait vertical, et tournerait avec une grande vitesse. D'après une expérience faite en Angleterre, dans une bâche où le liquide avait $0^m,135$ de profondeur, 30 mètres carrés de surface, le refroidissement de 4000 litres de moût durait 10 heures; et en établissant à la surface de la bière une roue à quatre ailes de 2 mètres de diamètre, dont les arêtes inférieures des ailes étaient à 0,027 de la surface du liquide, et qui faisait 120 tours par minute, le refroidissement a eu lieu en 2 heures. Maintenant, dans les grands établissements, on emploie l'un des deux appareils que nous allons décrire.

1856. Le premier, dont les figures 7 et 8 (pl. 107) sont deux coupes, l'une dans le sens de la longueur, l'autre transversale, est formé de trois tuyaux en cuivre concentriques. Le tuyau intérieur est plein d'air; dans l'intervalle de ce tuyau et de celui qui l'enveloppe circule de l'eau

froide, et l'intervalle du second et du troisième est parcouru en sens contraire par la bière; enfin un tube qui a toute la longueur des grands tuyaux, verse de l'eau froide sur la surface extérieure de la dernière enveloppe. Cet appareil est compliqué, d'un prix élevé et très-difficile à nettoyer.

1857. Une autre disposition, qui paraît plus avantageuse que la précédente, est représentée dans les deux figures 9 et 10 (pl. 107), dont l'une est une coupe longitudinale, et l'autre une élévation par le bout. L'appareil est composé de trois lames de cuivre rectangulaires, parallèles, repliées alternativement de haut en bas et de bas en haut, formant deux canaux ayant une surface commune et fermés latéralement. La bière circule dans le canal supérieur, l'eau parcourt en sens contraire le canal inférieur, et des injections d'eau froide ont lieu sur toutes les parties de la surface extérieure du canal, par des tubes garnis de têtes d'arrosoir. Enfin on a ménagé des regards dans les parties culminantes du conduit supérieur, et des orifices dans toutes les parties inférieures, pour enlever de temps en temps les dépôts formés par la bière.

1858. Il est évident, que dans les deux appareils que nous venons de décrire, l'eau marchant en sens contraire du moût, si on n'emploie qu'un volume d'eau égal à celui du moût et si le circuit a une étendue suffisante, il y aura échange complet de température entre les deux liquides, et l'eau qui a servi au refroidissement pourra être employée utilement à la préparation d'une nouvelle décoction.

1859. On voit dans la figure 1re (pl. 108) un appareil, construit sur une petite échelle, au moyen duquel on peut obtenir un échange complet de température de deux liquides, quand les surfaces de contact ont une étendue suffisante relativement aux volumes des liquides qui sont mis en contact, et qu'on néglige le refroidissement dû au contact de l'air. Cet appareil se compose de deux tuyaux concentriques repliés plusieurs fois; le liquide chaud arrive dans le tube intérieur par l'entonnoir A et s'écoule par le tuyau A′; le liquide froid sort de l'entonnoir B, remonte dans l'espace annulaire compris entre les deux tubes et s'écoule par le tube B′.

1860. Le refroidissement de l'eau de condensation des machines à vapeur est indispensable quand on ne peut pas disposer d'une quantité d'eau froide suffisante, et qu'on est obligé de faire servir constamment la

même eau, ou quand l'eau froide est prise à une grande profondeur et que les pompes consomment trop de travail.

1861. On peut refroidir l'eau de condensation d'une machine à vapeur, et utiliser la chaleur qu'elle renferme, en effectuant son refroidissement par un courant d'air qu'on fait passer dans des séchoirs ou dans des ateliers, ou en la faisant circuler dans des conduits placés dans des ateliers.

1862. Mais quand on n'a pas l'emploi de la chaleur de l'eau de condensation, la meilleure méthode consiste à favoriser le refroidissement par l'évaporation. Les figures 2, 3 et 4 (pl. 108) représentent une coupe verticale, la projection horizontale, et une coupe suivant xx' (fig. 2) d'une disposition assez simple, qui produirait un refroidissement très-rapide. L'eau chaude arrive par le tube A dans la bâche B, soutenue à une certaine hauteur par un bâtis en bois; elle s'écoule par un grand nombre d'orifices très-petits percés dans le fond de cette bâche, et tombe sur des fagots d'épines qui la divisent et donnent accès à l'air qui s'écoule par la cheminée D; l'eau, après avoir traversé les fagots, tombe dans la bâche C, où elle est prise par une pompe qui la remonte dans la bâche B.

1863. Les figures 5 et 6 représentent une coupe verticale et le plan d'un appareil disposé d'une autre manière. La bâche supérieure est garnie d'un grand nombre de tubes métalliques, fixés sur son fond, qui s'élèvent à une certaine hauteur, et se prolongent au-dessous de quelques centimètres; à la partie inférieure des tubes, sont fixés des tuyaux en toile, maintenus ouverts par des anneaux métalliques qui se trouvent au bas de chacun d'eux. De nombreux orifices percés dans le fond de la bâche B et autour des cylindres, permettent au liquide de s'écouler sur la surface des tuyaux de toile pour tomber dans la bâche C; les tuyaux forment alors des cheminées dans lesquelles l'air échauffé par l'eau chaude se meut rapidement et produit une évaporation rapide.

1864. Dans les figures 7, 8, 9 et 10, on voit un appareil disposé encore d'une autre manière. Le fond de la bâche supérieure est percé d'un grand nombre de trous circulaires dans lesquels sont placés des cordes d'un diamètre peu différent; ces cordes passent dans deux trous voisins, comme l'indiquent les figures 9 et 10; elles sont soutenues par leur milieu, et servent de conduits à l'eau qui s'écoule de la bâche supérieure

dans la bâche inférieure. L'air appelé par la cheminée centrale, traverse le faisceau de cordes et refroidit rapidement l'eau qui les suit.

1865. L'appareil représenté dans les figures 11 et 12 (pl. 108) a beaucoup d'analogie avec le précédent. L'eau s'écoule encore en parcourant des cordes, mais les bâches sont rectangulaires, l'espace qui les sépare est fermé de toute part, et communique d'un côté avec un ventilateur à force centrifuge et par le côté opposé avec une cheminée. L'eau de la bâche inférieure est remontée par une pompe, dans le cas où une seule chute ne la refroidit pas suffisamment.

§ 4. — REFROIDISSEMENT DES CORPS AU-DESSOUS DE LA TEMPÉRATURE ORDINAIRE ET CONSERVATION DE LA GLACE.

1866. Le refroidissement d'un corps au-dessous de la température ordinaire, abstraction faite de certaines actions chimiques, peut être produit, par le contact du corps, 1° avec de l'air qui se sature de vapeur d'eau; 2° avec de l'air comprimé qui se détend; 3° avec de la glace ou des mélanges frigorifiques.

1867. *Refroidissement par l'évaporation.* Lorsqu'un courant d'air sec, ou seulement non saturé, passe sur un liquide, l'évaporation en abaisse la température; mais pour le même air à la même température, l'abaissement est indépendant de la vitesse de l'air. D'après les expériences faites par M. Gay-Lussac, l'air étant parfaitement sec, et sa température, ainsi que celle du liquide, étant de 0°, 5, 10, 15, 20 et 25°, les refroidissements obtenus ont été de

5°,82; 7°,27; 8°,97; 10°,82; 12°,73; 14°,70.

Mais si l'air était déjà en partie saturé de vapeur d'eau, l'abaissement de température serait beaucoup plus petit; dans les mêmes circonstances, on peut regarder cet abaissement comme proportionnel à la quantité de vapeur dont l'eau peut se charger. Ainsi, dans les circonstances les plus ordinaires, l'air étant à moitié saturé, le refroidissement serait moitié de celui que nous avons indiqué.

1868. Si le corps qui doit être refroidi était de l'eau, tous les appareils que nous avons indiqués (1862 à 1865) pourraient être employés. Mais si le liquide était de toute autre nature, et si son refroidissement ne pouvait pas avoir lieu par sa propre évaporation, il faudrait le faire circuler

lentement dans un système de tuyaux métalliques dont les surfaces extérieures, recouvertes de toiles, seraient parcourues par de petits filets d'eau, dont on accélérerait l'évaporation par un courant d'air produit par un ventilateur.

1869. Si le corps qui doit être refroidi, était de l'air, et si on pouvait le saturer de vapeur, l'appareil (fig. 11 et 12 pl. 108) serait le plus commode. Mais si l'air devait conserver son état hygrométrique primitif, l'appareil représenté par les figures 1re et 2 (pl. 109) pourrait seul être employé. Cet appareil est disposé de la manière suivante : Une bâche en bois A renferme l'eau qui doit être évaporée; une seconde B reçoit celle qui échappe à l'évaporation. L'eau s'écoule du vase A par un robinet *a* dans une caisse en tôle C, garnie d'un grand nombre de tuyaux qui s'élèvent à une hauteur plus grande que ses parois, et qui sont soudés sur une plaque de tôle horizontale DD, fixée au-dessous du vase C, et au moins à 1 mètre de distance. Les tuyaux sont couverts de toile, et l'eau du réservoir C peut s'écouler sur ces tissus par de petits orifices percés dans le fond du réservoir et très-près des tuyaux; l'eau qui échappe à l'évaporation, se réunit dans l'entonnoir allongé E pour s'écouler ensuite dans la bâche B. L'espace occupé par les tuyaux est fermé latéralement par des planches E, E; il est libre du côté des bâches A et B. Deux ventilateurs à force centrifuge introduisent de l'air, le premier autour des tubes, le second dans les tubes; le premier courant s'échappe librement par l'intervalle qui sépare les bâches A et B; le second se rend dans le canal F, dont la partie inférieure évasée enveloppe la caisse C. Le courant provenant du ventilateur H refroidit les tuyaux, et ces derniers refroidissent le courant d'air lancé par le ventilateur G. Il serait très-utile de garnir les tuyaux d'appendices intérieurs qui permissent à l'air de prendre plus facilement leur température.

1870. On pourrait produire dans l'eau, par son évaporation dans le vide, un refroidissement beaucoup plus considérable que par l'évaporation due au renouvellement de l'air; mais nous ne parlerons de ce moyen de refroidissement que quand il sera question de la congélation de l'eau.

1871. *Refroidissement d'un gaz par sa dilatation.* Lorsqu'on comprime un gaz, il s'échauffe, et si avant qu'il ait perdu la température qu'il a acquise par la compression, on le ramenait à son volume primitif, il reprendrait évidemment sa température initiale; par consé-

quent, si un gaz comprimé se trouvait à la température ordinaire, en se dilatant il se refroidirait d'un nombre de degrés égal à celui dont il s'est échauffé par la compression.

1872. D'après Laplace, en désignant par θ la température de l'air, par d sa densité, par θ' la température qu'il prend par une compression brusque qui lui donne une densité d', on a

$$\theta' = (267 + \theta)\left(\frac{d'}{d}\right)^{0,42} - 267.$$

En supposant $\theta = 0$ et $d' = 5d$, on trouve $\theta' = 221°$. Ce serait là, par conséquent, l'abaissement de température qu'éprouverait cet air en reprenant sa densité primitive.

1873. La dilatation des gaz est donc un moyen très-puissant de produire un grand abaissement de température dans ces gaz et dans les corps qu'on met en contact avec eux; mais cette méthode de refroidissement exige un travail mécanique considérable quand on veut opérer sur de grandes masses; d'ailleurs le refroidissement produit par la dilatation des gaz, ne serait pas à beaucoup près aussi considérable que celui qui est indiqué par le calcul, à cause de la chaleur développée dans l'air par les jets de gaz comprimés et de la chaleur fournie par l'enveloppe.

1874. Nous rapporterons à ce sujet la belle expérience de M. Thilorier, qui fait voir combien est puissant le mode de refroidissement dont il s'agit. De l'acide sulfurique et du bi-carbonate de soude étant introduits dans un cylindre de fonte, et n'étant mis en contact qu'après la fermeture du cylindre, l'acide carbonique qui se dégage, se liquéfie sous une pression, à 0°, de 36 atmosphères. En ouvrant un orifice par lequel le gaz sort de l'appareil, le refroidissement est de 93° au-dessous de la glace; le gaz est solidifié, et prend la forme d'une neige très-divisée.

1875. On pourrait employer ce mode de refroidissement pour refroidir l'air de quelques degrés au-dessous de la température de l'air, en se servant d'un ventilateur pour comprimer l'air, de longs tuyaux métalliques d'un grand diamètre pour le refroidir, et en le faisant sortir à leur extrémité par des orifices d'un diamètre beaucoup plus petit.

1876. *Refroidissement par le contact de la glace ou des mélanges frigorifiques.* Nous avons donné à la page 37 du premier volume, un tableau des effets produits par les différents mélanges frigorifiques; nous

nous bornerons ici à indiquer la disposition la plus convenable, de l'appareil qu'il faudrait employer pour refroidir l'air au moyen de la glace.

1877. Les figures 3 et 4 (pl. 109) représentent une coupe verticale et une coupe horizontale de l'appareil en question. A est un tuyau vertical parcouru par l'air qui doit être refroidi; B, un vase annulaire qui renferme la glace; ce vase a une double enveloppe CC, remplie d'édredon, de ouate, de son, ou de paille hachée; un tuyau à robinet D laisse écouler dans le vase E, l'eau produite par la liquéfaction de la glace. La paroi intérieure du vase B est en fonte et porte plusieurs rangées d'appendices dirigés dans le sens des rayons, d'une petite hauteur, et disposés de manière que ceux qui appartiennent à deux rangées successives ne soient pas dans le même plan. Par cette disposition, le vase plein de glace peut n'avoir qu'une petite hauteur, et cependant refroidir très-rapidement l'air qui le traverse.

1878. Mais lorsque l'air ne doit être refroidi que d'un petit nombre de degrés, et qu'il doit être amené à une température qui ne soit pas au-dessous de 10°, il est beaucoup plus avantageux de le faire circuler dans des carneaux placés dans le sol à une profondeur suffisante. C'est la méthode la plus convenable pour rafraîchir l'air pendant l'été dans les pays chauds; l'air pourrait être lancé par un ventilateur à force centrifuge; et le travail d'un seul homme suffirait à la ventilation d'une pièce renfermant de 50 à 60 personnes, si la vitesse de l'air dans le canal ne dépassait pas 2 ou 3 mètres.

1879. *Refroidissement des corps par le rayonnement vers le ciel, pendant les nuits sereines.* Lorsqu'un corps doué d'un grand pouvoir rayonnant est exposé dans un lieu découvert, pendant une nuit calme et sereine, il éprouve un très-grand refroidissement, dû à ce que l'enceinte planétaire est à une très-basse température. Le refroidissement serait encore beaucoup plus considérable, si l'air, la terre, et la condensation de la vapeur d'eau à la surface du corps, ne lui restituaient pas une partie de la chaleur qu'il perd.

Pour obtenir par ce moyen un grand refroidissement, il faut que la surface du corps ait un grand pouvoir émissif et que le corps soit soutenu par d'autres corps très-mauvais conducteurs.

1880. Depuis un temps immémorial on fait au Bengale de la glace par un procédé fondé sur le rayonnement nocturne. On place des vases de

terre peu profonds, pleins d'eau, sur des couches de cannes à sucre, ou de tiges de maïs non comprimées; lorsque pendant la nuit le ciel a été pur, l'air calme, et que la température de l'atmosphère s'est abaissée au-dessous de 10°, on trouve le matin l'eau congelée. M. Wels a essayé ce procédé en Angleterre pendant l'été, et il a parfaitement réussi.

1881. *Congélation de l'eau.* Les moyens physiques les plus efficaces pour congéler l'eau, sont la dilatation de l'air comprimé et la vaporisation dans le vide.

1882. Le premier procédé consisterait à faire arriver dans un cylindre vertical formé d'une matière peu conductrice, et par le haut, de l'eau très-divisée, et par le bas, au moyen de douilles nombreuses, de l'air froid comprimé; l'air en se dilatant dans le cylindre au milieu des gouttelettes d'eau, les congèlerait. Mais ce procédé est compliqué et exigerait une grande dépense de force motrice.

1883. Le second paraît plus simple. L'appareil serait composé de deux cylindres de fonte, placés verticalement, fermés de toute part, communiquant entre eux par leurs parties supérieures, environnés de matières non conductrices, renfermant l'un de l'eau, l'autre du chlorure de calcium, et communiquant avec une puissante machine pneumatique, disposée comme celles de M. Babinet. Lorsque le vide aurait été fait dans les cylindres, une évaporation rapide s'établirait à cause de l'absorption de la vapeur par le chlorure de calcium, et refroidirait promptement le liquide à 0°. Si les corps environnants ne restituaient pas de la chaleur à l'eau, supposée primitivement à 10°, la congélation de 1 kilogr. d'eau exigerait l'émission de $10+75=85$ unités de chaleur, et par conséquent l'évaporation de $85:560=0^k,152$ d'eau. Mais comme il y aurait toujours de la chaleur fournie par les corps environnants, et surtout par le vase de condensation, la quantité de vapeur à former serait beaucoup plus considérable. La dépense de travail pour produire le vide serait peu importante, ainsi que la dépense de combustible pour la calcination du chlorure de calcium; et le degré de perfection qu'on a obtenu dans les appareils à cuire les sirops dans le vide, ne permet pas de douter qu'on arriverait très-facilement à maintenir le vide produit pendant le temps nécessaire à la congélation. Mais, de ces considérations générales à l'exécution il y a encore loin, et des essais sur une assez grande échelle seraient indispensables pour s'assurer qu'on ne rencontrera pas de dif-

ficultés imprévues, et pour déterminer approximativement le prix de revient de la glace obtenue.

1884. *Conservation de la glace.* Dans les pays tempérés, et dans les pays chauds où l'on peut recueillir de la glace pendant la saison la plus froide de l'année, on la conserve dans des espèces de citernes qu'on désigne sous le nom de glacières. Les glacières sont creusées dans le sol; elles ont la forme d'un tronc de cône renversé, dont les parois sont formées d'une maçonnerie épaisse recouverte d'une couche de ciment, de manière que l'eau ne puisse pas les traverser. A la partie inférieure se trouve une grille, et au-dessous un puisard dans lequel se réunissent les eaux qui proviennent de la fusion de la glace, et d'où elles s'écoulent naturellement à travers les terres, ou par des conduits qui les amènent au jour par une pente continue, quand les glacières sont creusées sur le penchant d'une colline. L'orifice de la glacière est fermé par une voûte épaisse en maçonnerie, ou par une charpente recouverte de plusieurs couches de chaume. L'entrée est toujours placée au nord; elle est formée d'un couloir fermé par une porte à chaque extrémité, et ordinairement entouré d'arbres qui empêchent les rayons solaires d'y arriver. La glace doit être recueillie pendant un temps sec. On couvre d'abord la grille du puisard, et toute la surface des parois, d'une couche épaisse de paille longue; c'est sur cette couche que l'on place la glace, en la disposant de manière à laisser entre les blocs le moins d'intervalle possible. On peut aussi employer de la neige, mais il faut la comprimer fortement, de manière à former des blocs rectangulaires que l'on serre les uns contre les autres. La glace est ensuite recouverte d'une couche de paille sur laquelle on met des planches ou des pierres.

1885. Malgré toutes les précautions employées pour empêcher la chaleur des corps environnants de pénétrer dans la glacière, on perd toujours pendant chaque saison une partie de la glace, et cette perte, relativement à la masse qui a été recueillie, est toujours d'autant plus grande que la glacière est plus petite; car la perte est proportionnelle à la surface, et les surfaces des corps semblables dont les dimensions augmentent, croissent dans un plus petit rapport que les volumes. La première année qu'on se sert d'une glacière, on éprouve un déchet beaucoup plus grand que dans les années suivantes; il arrive

même quelquefois, quand la maçonnerie n'a pas eu le temps de sécher, qu'on ne conserve point de glace.

1886. On donne ordinairement aux grandes glacières 4 à 5 mètres de diamètre et 7 mètres de profondeur. La figure 5 (pl. 109) représente la coupe verticale d'une glacière.

1887. Les figures 6 et 7 (pl. 109) représentent une coupe et le plan d'une petite glacière américaine d'une construction très-simple et qui peut suffire à une nombreuse famille. *a*, *a*, *a* est une excavation de 2 mètres, en tous sens, creusée dans le sol. *b* est une rigole pratiquée au fond de l'excavation et qui sert à l'écoulement de l'eau provenant de la fusion de la glace. *c*,*c*, deux pièces de bois de $0^m,15$ d'équarrissage et de 2 mètres de longueur, placées au fond de l'excavation, et qui s'appuient sur le sol par leurs extrémités. *d*,*d*, traverses posées sur les poutres *c*; elles servent à supporter un certain nombre de solives de $0^m,05$ d'équarrissage et de 2 mètres de longueur. *f*,*f*, montants de $0^m,08$ d'équarrissage, s'appuyant par leurs extrémités inférieures sur le fond de la glacière et s'élevant jusqu'à sa partie supérieure. *g*, lattes de $0^m,04$ d'épaisseur, formant le revêtement des parois de la glacière, et clouées sur les montants *f*. *h*, *h*, garniture de paille de $0^m,08$ d'épaisseur, attachée sur les lattes. *i*, glace remplissant l'excavation. *k*,*k*, quatre poutres de $0^m,16$ d'équarrissage et de 3 mètres de long, destinées à soutenir la terre amoncelée au-dessus de la glacière. *l*, lattes placées en travers sur les poutres *k*,*k*. *m*, lit de paille étendu sur les lattes *l*. *n*, tertre de 1 mètre de hauteur surmontant la glacière. *p*, trou carré creusé dans le tertre et revêtu de planches pour former une caisse qu'on remplit de paille. *q*, entrée de la glacière, dirigée au nord, pourvue de quelques marches, de 1 mètre de largeur à l'extrémité libre et de $0^m,4$ seulement à l'autre bout. *r*, bottes de paille très-serrées, qui forment la porte de la glacière. *s*, trappe revêtue de paille et fermant l'entrée de la glacière.

1888. Une glacière ayant les dimensions indiquées peut contenir 4000 kilogrammes de glace. On ne doit y entrer que le soir ou le matin, une seule fois par jour. Pour retirer la glace on fait dans le revêtement en paille un trou seulement suffisant pour y passer le bras. D'après l'auteur, M. Hawkins, la construction d'une semblable glacière coûterait moins de 140 francs.

1889. M. de Valcour, d'après une disposition qu'il avait vue en Améri-

que, a proposé la forme de glacière qui est indiquée dans les figures 8 et 9 (pl. 109). *a*, *a*, poutres ou sommiers sur lesquels repose la glacière. *b*, *b*, poutrelles disposées transversalement sur les trois sommiers et suffisamment espacées pour laisser écouler l'eau provenant de la glace fondue. *c*, *c*, poteaux de $0^m,10$ à $0^m,13$ d'équarrissage, élevés verticalement et formant la cage dans laquelle on place la glace. *d*, *d*, planches en chêne formant le revêtement des poteaux *c*, tant en dedans qu'en dehors. *e*, couche de charbon pilé fortement tassé entre les poteaux *c* et les planches *d*. *f*, paille qui tapisse les planches *d* de l'intérieur de la caisse à glace, ainsi que le dessus des poutrelles *b*. *g*, *g*, poteaux de $0^m,33$ de largeur sur $0^m,16$ d'épaisseur, formant la seconde enveloppe de la glacière. *h*, *h*, planches en chêne qui recouvrent les deux faces des poteaux *g*. *i*, charbon pilé. *j*, entrée de la glacière, qui conduit à un couloir garni de deux portes. *s*, couche épaisse de paille qui recouvre la toiture et les faces latérales de la seconde enveloppe. *t*, chevrons de la toiture. *u*, couche de décombres, de tan, ou de charbon, tassé sur toute l'étendue du sol de la glacière.

1890. Enfin on a employé avec succès, mais seulement pour rafraîchir des liquides, la disposition représentée par la figure 10 (pl. 109). *a*, *a*, est un tonneau cerclé en fer, de 2 mètres de hauteur et d'un mètre de diamètre, placé dans une excavation creusée dans le sol d'une cave; il est environné d'une ceinture de 0,10 de cendres fortement tassées *b*, *b*. Le tonneau est garni d'un double fond percé de trous, et l'intervalle des deux fonds d'un tube *cc* qui conduit l'eau provenant de la fusion de la glace dans un seau *d*, placé au fond du puisard, et qu'on remonte à l'aide d'une corde lorsqu'il est rempli. On ferme la glacière au moyen d'un vase en bois *f*, d'une petite hauteur, rempli de cendres pressées, garni de larges rebords couverts en dessous d'une étoffe de laine grossière, et suspendu à une corde qui, après avoir passé sur deux poulies fixes, se termine par un contre-poids. Pour remplir la glacière, on commence par placer au milieu un piquet, autour duquel on comprime la glace, et qu'on enlève après.

1891. Je pense qu'il y a peu de modifications à introduire dans les grandes glacières; car avec les précautions connues on obtient tout l'effet qu'on peut espérer. Seulement il est important de leur donner les plus grandes dimensions possibles; car la quantité annuelle de

glace fondue par la transmission de la chaleur à travers le sol, augmente proportionnellement à la surface intérieure de la glacière, et comme nous l'avons déjà dit, ces surfaces augmentent dans un plus petit rapport que les volumes. Il est aussi plus important qu'on ne l'avait pensé, de préserver les glacières du contact des terres humides, même de celles dans lesquelles l'eau est stagnante; car la terre humide conduit beaucoup mieux la chaleur que la même terre desséchée.

1892. Mais les petites glacières qu'on a construites jusqu'ici, ne sont pas aussi bien disposées qu'elles pourraient l'être. Dans la glacière représentée figure 6 (pl. 109), l'enveloppe en charpente devrait être environnée de paille; le vase *p* a de trop petites dimensions; une couche épaisse de paille devrait couvrir toute la partie supérieure de la glacière; et enfin le tertre placé au-dessus devrait être abrité de la pluie. Dans la construction de l'appareil (fig. 8 et 9 (pl. 109), M. de Valcour a été guidé par une idée très-inexacte de l'influence des doubles enveloppes; la galerie *r* dans laquelle l'air se meut librement diminuerait fort peu la transmission de la chaleur, qui d'ailleurs s'effectuerait très-facilement à travers le sol. L'appareil figure 10 est bien entendu; mais la paille hachée conviendrait mieux que les cendres, et la partie inférieure du tonneau devrait en être garnie comme les parties latérales.

1893. Il est facile de déterminer approximativement, d'après la conductibilité des corps employés pour ralentir la transmission de la chaleur dans une glacière, la quantité de glace qui serait fondue pendant une saison; mais seulement quand la glacière est exposée à l'air par toutes ses faces, car on ne sait absolument rien sur le réchauffement ou le refroidissement d'un corps en contact avec un milieu indéfini, et c'est ce qui arrive pour les glacières enfoncées dans le sol. Dans le premier cas il y a une remarque importante à faire; quand la chaleur est transmise de l'intérieur à l'extérieur d'un corps, l'étendue de la surface extérieure est sans influence sur la quantité de chaleur transmise, parce que l'abaissement de température de cette surface compense l'excès de son étendue sur la surface intérieure, et tout se passe comme si la surface extérieure avait la même étendue que la surface intérieure; mais quand la transmission de la chaleur a lieu en sens contraire, c'est l'accroissement de température de la surface intérieure qui compense le décroissement de son

étendue, et tout se passe comme si la surface intérieure avait l'étendue de la surface extérieure.

Supposons, par exemple, un vase rectanglaire ayant 2 mètres de côté, plein de glace, et environné d'une couche de paille hachée de $0^m,50$, maintenue par des planches. La surface du vase extérieur sera de 54 mètres carrés. En supposant que la température moyenne du mois de janvier au mois de mai soit de 6°, comme l'indiquent les observations faites à Paris, et en prenant 9 pour la valeur de K relative au bois, la quantité de chaleur qui pénétrera dans la glacière par mètre carré de surface, et par heure, sera $CKt\,(KC+C) = 0,8271$; pour les 54 mètres de surface, 44,66; et pour les 120 jours, 127680 unités, qui correspondent à la fusion de 1700 kilogr. de glace; en supposant que ce nombre soit porté à 2000, la glace fondue serait égale à un quart de celle qu'on aurait placée dans la glacière.

1894. On diminuerait la quantité de glace fondue, en augmentant l'épaisseur de l'enveloppe, mais dans un rapport beaucoup plus petit; par exemple, en supposant à la couche de paille une épaisseur de 1 mètre, la transmission par heure et par mètre carré serait deux fois plus petite et seulement de 0,41; mais la surface extérieure serait de 96 mètres carrés, et par conséquent la quantité de chaleur transmise par heure et par toute la surface serait seulement de 39 unités, au lieu de 44.

1895. On voit, d'après cela, qu'il y a une bien grande différence dans l'effet des enveloppes, suivant que la transmission a lieu de dedans en dehors et de dehors en dedans. Dans le premier cas, quand le corps qui forme l'enveloppe est très-mauvais conducteur et que son épaisseur est très-grande, la vitesse du refroidissement est sensiblement en raison inverse de son épaisseur, tandis que dans le second cas, la vitesse du réchauffement diminue suivant une loi beaucoup moins rapide, à cause de l'accroissement d'étendue de la surface extérieure.

CHAPITRE XVII.

CHAUFFAGE, VENTILATION ET ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS.

1896. Nous nous occuperons dans ce chapitre, comme son titre l'indique, du chauffage et de l'assainissement des lieux habités. Mais avant de traiter cette question pour les différents cas particuliers qui peuvent se présenter, il en est plusieurs autres qui doivent être résolues d'abord.

1897. L'homme vicie l'air qui l'environne par la respiration et par la transpiration, et il faut déterminer le volume d'air qui doit être fourni par individu et par heure dans un lieu habité, pour que ce lieu soit salubre. Il faut aussi déterminer le volume d'air nécessaire aux différents appareils d'éclairage. L'homme, par l'action même de la respiration, produit constamment de la chaleur, et cette quantité doit être connue, afin qu'on puisse en tenir compte dans l'évaluation de celle qui doit être fournie. Il est indispensable aussi de connaître la quantité de chaleur qui traverse les enveloppes de nos habitations dans des circonstances connues, car ce n'est qu'au moyen de cette donnée qu'on pourra, en ayant égard à la ventilation et à la chaleur animale, déterminer dans chaque cas particulier la quantité de chaleur à produire pour maintenir les habitations à une température constante. Enfin il faut examiner les différents modes de ventilation, afin de pouvoir choisir dans chaque cas particulier celui qui est le plus convenable.

§ 1er. — VOLUME D'AIR NÉCESSAIRE A LA RESPIRATION ET AUX APPAREILS D'ÉCLAIRAGE.

1898. On sait, que par l'acte de la respiration, une partie de l'air est transformée en acide carbonique, et que l'air expiré serait à peu près

impropre à une nouvelle respiration. D'après le docteur Mauzies, dans une heure, un homme par sa respiration, transformerait en acide carbonique tout l'oxygène contenu dans 177 litres d'air. Mais, d'après les expériences plus récentes de M. Dumas, ce volume serait seulement de 90 litres, et le volume d'air expiré de 333 litres, qui renfermerait à peu près 0,04 d'acide carbonique. D'après ce dernier nombre, il faudrait à peu près un tiers de mètre cube d'air par individu et par heure, pour que le même air ne passât qu'une seule fois par les poumons.

1899. Mais l'homme, par son organisation, agit encore d'une autre manière pour vicier l'air qui l'environne : c'est par la transpiration cutanée et pulmonaire. Les vapeurs qu'il émet se dissolvent dans l'air, mais elles sont accompagnées des matières animales qui communiquent promptement à l'air une mauvaise odeur; et ces matières sont, sans aucun doute, la cause la plus puissante d'insalubrité; car, dans un grand nombre de cas, où l'air des pièces qui renferment un grand nombre d'individus, affecte péniblement la respiration, on ne trouve pas dans sa composition un accroissement d'acide carbonique qui puisse expliquer la différence d'effet produit par cet air et par l'air libre, comme cela résulte avec la dernière évidence du mémoire déjà cité de M. Leblanc. D'après cela, il est plus convenable de prendre, pour la dose d'air à fournir par individu et par heure, le volume d'air nécessaire pour dissoudre les produits de la transpiration. Or, il résulte des expériences de Seguin, que la quantité totale de vapeur d'eau produite par un homme dans 24 heures varie de 800 à 1000 grammes; des nombres peu différents ont été obtenus par M. Dumas. En prenant la moyenne, on trouve 38 grammes pour la quantité de vapeur d'eau produite par heure. En supposant l'air à 15°, et déjà à moitié saturé de vapeur d'eau, qui sont les circonstances les plus ordinaires, le volume d'air nécessaire pour dissoudre le poids des vapeurs produites, serait de $2.38:13,028=5^{m},84$. Ainsi le volume d'air à fournir par individu et par heure est à peu près de 6 mètres cubes.

1900. L'exactitude de ce nombre a été vérifiée par plusieurs expériences. L'école primaire de la rue Neuve-Coquenard, qui renferme ordinairement 200 enfants, est chauffée et ventilée au moyen d'une disposition particulière, dont nous parlerons bientôt, qui permet de mesurer facilement le volume d'air qui s'écoule de la salle pendant un temps donné; or, j'ai toujours observé qu'avec une ventilation de 6

mètres cubes par élève et par heure, l'air intérieur n'avait jamais d'odeur, et qu'il était impossible, à en juger par l'effet produit sur nos organes, d'y trouver une différence avec l'air extérieur. M. Leblanc rapporte, dans son mémoire sur l'air confiné, des expériences qui viennent à l'appui de celles que j'avais faites auparavant. La salle renfermait 180 enfants, la ventilation était de 1080 mètres cubes par heure, c'est-à-dire, de 6 mètres cubes par élève; après 5 heures de séjour des enfants, la quantité d'acide carbonique s'élevait au plus à 2 millièmes; aucune odeur ne régnait dans la salle, et la respiration n'était nullement gênée. Avec une ventilation de 837 mètres seulement, la quantité d'acide carbonique a été portée à 47 dix-millièmes. La salle étant close, sans ventilation, après le même temps, l'air en renfermait 87 dix-millièmes. *L'atmosphère était lourde, l'inspecteur se plaignait de la chaleur et attendait avec impatience le moment d'ouvrir les fenêtres;* la température intérieure n'était pourtant que de 18°.

1901. Des expériences faites à la Chambre des députés, s'accordent avec celles qui précèdent. La chambre des séances, comme nous le dirons plus tard, est chauffée par des calorifères placés dans les caves; l'air chaud pénètre dans la salle par des orifices percés dans la plus petite contre-marche, celle qui est la plus voisine de la tribune, et il sort de la salle par des orifices nombreux percés sur la dernière marche de l'amphithéâtre et par des orifices pratiqués dans le plafond des tribunes. L'air s'écoule d'abord par plusieurs tuyaux ménagés dans l'épaisseur des murailles qui communiquent avec tous les orifices dont nous venons de parler, et ensuite par une large cheminée plus élevée, à laquelle les tuyaux aboutissent et dans laquelle se trouve un foyer alimenté par du coke. La ventilation se règle principalement au moyen d'un registre vertical, placé dans le canal qui conduit l'air froid aux calorifères. Le chauffeur, homme intelligent et qui connaît très-bien l'appareil qu'il est chargé de diriger, m'a dit qu'il avait reconnu par expérience la hauteur à laquelle devait être placée la vanne, dans les différentes circonstances, pour que l'on ne se plaignît pas d'une odeur désagréable dans la salle; qu'un peu au-dessous de ces limites, l'odeur devenait sensible. Une expérience a été faite à la fin d'une séance nombreuse, vers quatre heures du soir; le volume d'air froid introduit était de $1^{m},9$ par seconde, ou de $6840^{m.c.}$ par heure; et comme la salle renfermait de

1000 à 1100 personnes, la ventilation était de 6 à 7 mètres cubes par personne et par heure, du moins en n'ayant égard qu'à l'air fourni par les calorifères. Mais comme il y avait nécessairement de l'air appelé par les fissures des portes et des fenêtres, et par les portes qui s'ouvraient de temps en temps, le chiffre réel de la ventilation ne pouvait se déterminer que par la mesure de la vitesse de l'air dans tous les tuyaux qui le conduisent à la cheminée d'appel; cette vitesse a été observée dans deux embranchements, mais on a oublié de la mesurer dans le troisième, de sorte qu'il a été impossible de déterminer exactement le volume d'air écoulé; mais il devait peu différer de celui qui a été mesuré à l'entrée, et je regarde comme bien probable que l'air fourni par les calorifères eût suffi à l'assainissement de la salle. Quoique l'air n'ait point d'odeur sensible dans la salle, et que la ventilation soit suffisante, on se plaint cependant d'un excès de chaleur dans certaines parties de la salle; cet inconvénient provient, sans aucun doute, du mode de circulation qui a été adopté; nous reviendrons plus tard sur cet objet.

1902. Ces expériences ont donné lieu à une remarque fort singulière. L'odeur de l'air dans les cheminées d'appel était extrêmement désagréable, et cependant l'air de la salle était sans odeur et les cheminées étaient très-propres. Ce phénomène ne semble pouvoir s'expliquer que de deux manières : 1° en supposant que l'odeur de l'air soit augmentée par son mouvement, qui renouvelle constamment les parties en contact avec nos organes; 2° en admettant que les matières animales en dissolution ou en suspension dans l'air éprouvent, par leur contact prolongé, une fermentation qui en change la nature. Ces deux causes concourent probablement à produire l'effet dont il est question.

1903. Nous admettrons désormais, que 6 mètres cubes d'air, par personne et par heure, suffisent à l'assainissement des lieux habités, du moins pour obvier aux effets produits par la respiration et la transpiration.

1904. L'air des appartements est encore vicié par les lumières artificielles. Le tableau suivant renferme les poids des matières brûlées, pendant une heure, dans les différents appareils d'éclairage, ainsi que les volumes d'air nécessaires, en supposant que par la combustion un tiers seulement de l'oxygène de l'air soit absorbé.

Quantités d'air nécessaires aux différents appareils d'éclairage.

NATURE DE L'ÉCLAIRAGE.	CONSOMMATION DE COMBUSTIBLE PAR HEURE.	VOLUME D'AIR DONT $\frac{1}{3}$ DE L'OXYGÈNE EST ABSORBÉ.
Chandelles de 6 à la livre.	11^g	$0^m,322$
Bougie.	11^g	$0^m,322$
Lampe gros bec.	42^g	$1^m,266$

Les quantités de lumière produites dans ces différents modes d'éclairage, sont à peu près dans le rapport des nombres 11, 14 et 100.

Les résultats précédents donnent le moyen de calculer la quantité d'air qu'il faut fournir par heure à une pièce habitée, quand on connaît le nombre des personnes qu'elle contient, ainsi que la nature et le nombre des appareils d'éclairage.

1905. Quand les pièces ont une grande élévation, l'air qu'elles renferment peut suffire à la respiration pendant un certain temps, facile à calculer; mais, excepté dans les églises, il est rare que le volume d'air soit suffisant, lorsque le nombre des personnes est considérable et que leur séjour doit être prolongé. Il est utile cependant de calculer ce volume pour fixer l'époque à laquelle on doit commencer la ventilation. Cet air est toujours employé d'une manière utile, attendu que celui qui a servi à la respiration ou qui a été en contact avec le corps, étant à une température voisine de 30°, tend à s'élever; alors il se produit des doubles courants qui abaissent progressivement toutes les couches d'air. A la Chambre des députés, le volume de la salle, étant au plus de 4000 mètres cubes, suffirait à peine pendant une demi-heure dans les séances nombreuses.

Lorsque les appartements sont pourvus d'appareils de chauffage qui doivent être alimentés par l'air qu'ils renferment, il ne faut pas avoir égard au volume d'air que ces appareils exigent quand il est plus petit que celui qui est nécessaire à la respiration; parce que le même air qui a servi à la respiration peut encore alimenter la combustion. Mais quand le volume d'air dépensé par la cheminée du foyer est plus grand que celui

qui est nécessaire à la respiration, il est évident qu'il ne faut avoir égard qu'à l'appel du foyer. C'est ce qui a presque toujours lieu dans les appartements chauffés par le rayonnement du combustible, comme nous le verrons bientôt.

1906. Dans tout ce qui précède nous n'avons pas parlé de l'assainissement des lieux chauffés par des foyers découverts qui versent les produits de la combustion dans les pièces elles-mêmes, comme cela a encore lieu dans certaines parties de l'Espagne et dans quelques ateliers, parce que ce mode de chauffage est tellement insalubre qu'il doit être proscrit, non-seulement à cause de l'acide carbonique qui se répand dans l'air, mais surtout à cause de l'oxyde de carbone qui se forme toujours dans ces espèces de foyer, et dont l'action est incomparablement plus délétère que celle de l'acide carbonique. Dans une des expériences de M. Leblanc, un chien de grande taille fut asphyxié dans une atmosphère qui renfermait 0,04 d'acide carbonique et seulement 0,005 d'oxyde de carbone.

§ 2. — CHALEUR PRODUITE PAR LA RESPIRATION.

1907. Dans l'acte de la respiration, une certaine partie de l'oxygène de l'air est transformée en acide carbonique aux dépens d'une partie du carbone du sang. Cette combustion dégage de la chaleur, et d'après les expériences faites par M. Dulong, et plus tard par M. Despretz, la quantité de chaleur produite est la même que celle qui résulterait de la combustion d'un poids de carbone égal à celui qui est enlevé au sang. Ainsi chaque individu renferme un véritable calorifère dans lequel brûle constamment une certaine quantité de carbone. D'après les expériences de M. Mauzies, la quantité de carbone brûlée dans une heure par l'acte de la respiration, s'élèverait à $0^k,019$. Mais d'après les expériences récentes de M. Dumas, elle est seulement de 10 grammes, et par conséquent la quantité de chaleur émise dans le même temps est égale à $0,010 \times 7300 = 73$ unités de chaleur.

1908. Cette quantité de chaleur se disperse dans les corps environnants par rayonnement et par contact; mais une grande partie est employée à former la vapeur de la transpiration cutanée et celle qui se trouve dans l'air qui sort des poumons; et comme cette vapeur ne se

condense pas, qu'elle est entraînée en dissolution par l'air de ventilation, la chaleur qu'elle renferme n'est pas employée à chauffer les corps environnants et doit être retranchée de la quantité totale. Or, nous avons déjà vu qu'on peut admettre que la quantité de vapeur fournie par la transpiration est moyennement de 38 grammes; alors la chaleur employée à chauffer l'air et les corps environnants est seulement $73 - 0{,}038 \times 650 = 48$ unités.

1909. Il est important de remarquer que la quantité de chaleur fournie par la respiration est supérieure à celle qu'exige l'échauffement de l'air nécessaire à la ventilation. En effet, si nous supposons que l'air extérieur soit à 0°, et qu'il soit chauffé à 20°, la quantité de chaleur consommée par heure sera de $6 \times 1{,}3 \times 20 : 4 = 39$. Ainsi, si plusieurs personnes étaient réunies dans une salle dont les parois fussent à 20°, et ne se refroidissent pas, la température extérieure étant à 0°, celle de l'air intérieur pourrait rester à 20°, par l'effet de la chaleur animale, en supposant même une ventilation de près de 8 mètres cubes par individu et par heure.

§ 3. — DE LA VENTILATION.

1910. La ventilation est le renouvellement de l'air d'un certain lieu. Toujours l'espace ventilé est pourvu de deux orifices, l'un destiné à introduire l'air atmosphérique, l'autre à évacuer l'air intérieur. La ventilation est indispensable dans nos habitations, dans les ateliers, les hôpitaux, les salles de spectacle, parce que l'air y est vicié par la respiration; elle l'est surtout dans les galeries d'exploitations métallurgiques, et dans un grand nombre d'établissements industriels, qui sans ventilation deviendraient insalubres, non-seulement par la respiration des ouvriers, mais souvent par certaines émanations délétères.

1911. La ventilation s'effectue quelquefois naturellement; mais elle peut être produite par la chaleur ou par un agent mécanique. Nous examinerons successivement ces trois modes de ventilation.

1912. *Ventilation naturelle.* Si l'air atmosphérique et celui qui remplit nos habitations étaient exactement à la même température, l'air serait partout immobile; mais les variations diurnes de température produisent des courants qui marchent tantôt dans un sens, tantôt dans

l'autre. En effet, considérons une pièce pourvue d'une cheminée plus ou moins élevée, et dans laquelle l'air extérieur puisse pénétrer par les fissures des portes et des fenêtres. La pièce et sa cheminée pourront être considérées comme un canal, composé de deux branches, l'une horizontale l'autre verticale, ouvert par les deux bouts. Or, d'après ce que nous avons vu précédemment, si l'air du canal est à une plus haute température que l'atmosphère, l'air s'écoulera par l'orifice le plus élevé, et il s'échappera, au contraire, par l'orifice inférieur quand sa température sera inférieure à celle de l'air environnant. En général, pendant l'été et le printemps, la température des appartements est moins élevée que celle de l'air dans le jour, et plus élevée pendant la nuit. Alors, pendant le jour, l'air atmosphérique s'introduit par le point le plus élevé pour s'écouler par le point le plus bas, et le contraire existe pendant la nuit. En hiver, l'air des appartements étant, en général, à une température constamment plus élevée que celle de l'air atmosphérique, l'air s'écoule toujours par l'orifice supérieur.

1913. Il est facile de se rendre compte de ce qui arriverait dans un canal vertical ne communiquant avec le jour que par un seul orifice. En hiver, l'air étant plus chaud au fond du puits qu'à l'orifice, il s'établira nécessairement deux courants qui renouvelleront l'air plus ou moins rapidement; si au fond du canal il y avait un dégagement d'acide carbonique, le mouvement se ralentirait, et pourrait même cesser; il augmenterait, au contraire, s'il se dégageait de l'hydrogène carboné. En été, la température à la surface du sol étant, au contraire, en général, plus élevée qu'au fond du canal, les courants ne se produiront plus, et le renouvellement de l'air n'aura pas lieu. S'il se dégageait de l'acide carbonique, ce dégagement produirait évidemment le même effet qu'un abaissement de température; un dégagement d'hydrogène carboné agirait comme un accroissement de température, et la vapeur d'eau produirait le même effet.

1914. Examinons maintenant ce qui arrivera dans un canal creusé dans le sol à une profondeur plus ou moins considérable et dont les deux extrémités viennent s'ouvrir à la surface du sol à des hauteurs différentes.

On sait qu'à une petite profondeur, la température du sol ne par-

ticipe pas aux variations diurnes de la température de l'air; que l'influence des variations annuelles de la température de l'air sur celles des couches de la terre décroît rapidement avec leur profondeur; qu'à 25 ou 30 mètres elle disparaît complétement; qu'à partir de cette limite, la température de chaque couche reste invariable et augmente à mesure que les couches sont plus profondes, à peu près de 1° pour 25 à 30 mètres; et enfin que la température de la première couche à température constante est égale à la température moyenne annuelle de la surface du sol. Il résulte de là, que les parois des grandes excavations souterraines sont en général plus chaudes en hiver que l'air à la surface du sol, et que pour celles qui n'ont pas une grande profondeur, la différence de température peut changer de signe dans les saisons intermédiaires, et même la nuit et le jour.

Il est facile de voir d'après cela, que si le canal dont il s'agit est situé à une grande profondeur, la température de ses parois étant plus élevée que celle de l'air pendant l'hiver, et plus froide pendant l'été, en été, l'air atmosphérique pénétrera dans le canal par l'orifice le plus élevé, pour s'écouler par l'orifice le plus bas, et que le contraire aura lieu en hiver.

Lorsque les deux orifices seront au même niveau, l'équilibre existera; mais il ne sera stable que dans le cas où l'air du canal sera plus froid que l'air atmosphérique; dans le cas contraire, lorsque l'équilibre aura été rompu, le mouvement continuera dans le même sens. En effet, supposons d'abord que l'air du canal soit à une température plus élevée que l'air extérieur; aussitôt que le mouvement aura commencé, la partie du canal dans laquelle l'air atmosphérique aura pénétré, possédera une moindre force ascensionnelle que l'autre, et le mouvement se prolongera, quoique l'air en cheminant prenne progressivement la température de l'enveloppe. Mais si l'air du canal souterrain est à une plus basse température, il est évident, que si l'air extérieur pénétrait dans une des branches du canal, l'état primitif tendrait à se rétablir, et se rétablirait effectivement après plusieurs mouvements oscillatoires.

1915. Si le canal souterrain, au lieu d'avoir la forme d'un siphon renversé, était disposé en sens contraire, c'est-à-dire, si le canal horizontal qui réunit les deux branches verticales, était plus élevé que les deux extrémités, qui communiquent avec l'air par deux courts canaux horizontaux, disposition qu'on ne pourrait réaliser que dans une mon-

tagne, il est évident que, dans tous les cas, il arriverait le contraire de ce que nous avons dit pour un canal ayant la forme d'un siphon. Ainsi, quand l'air du canal sera plus froid que l'air extérieur, l'air du canal s'écoulera par l'orifice le plus bas; quand il sera plus chaud, l'écoulement aura lieu par l'orifice le plus élevé; et quand les deux orifices seront à la même hauteur, l'équilibre ne sera stable que quand l'air du canal sera plus chaud que l'air atmosphérique.

1916. Dans les deux formes différentes du canal, et quand les deux orifices ne sont pas à la même hauteur, on pourrait déterminer par le calcul la vitesse d'écoulement, si on connaissait la température de l'air dans les différentes parties du canal. Mais ces températures ne peuvent pas se déduire de celle de l'air atmosphérique et de celles des différents points de la paroi du canal, parce que l'air qui traverse le canal n'en prend point instantanément la température, et que la différence varie avec la section du canal, et la nature plus ou moins conductrice du terrain.

A plus forte raison il serait impossible de calculer les dimensions d'un canal qui, pour un état donné de l'air, et pour des températures également données des différentes couches du terrain, produisît un effet déterminé.

1917. *Ventilation par la chaleur.* On peut produire la ventilation par la chaleur de deux manières : 1° en échauffant l'air qui doit sortir; 2° en échauffant l'air à son entrée. Ce dernier mode de ventilation est employé, dans le cas où l'air vicié doit être remplacé par de l'air chaud, et que l'espace à ventiler se trouve à une assez grande hauteur, ou que l'air chaud s'écoule par le haut de la pièce. Ce mode d'aérage est surtout en usage pour le chauffage et la ventilation des salles dans lesquelles se réunissent un grand nombre de personnes, et dans certains séchoirs mal disposés (1285).

Dans la ventilation par le chauffage de l'air à sa sortie, il faut distinguer deux cas : 1° celui où l'air peut alimenter la combustion; 2° celui où la combustion doit avoir lieu par de l'air extérieur.

1918. *Cheminées d'appel dans lesquelles l'air appelé peut alimenter la combustion.* Ce cas se rencontre fréquemment, car c'est celui où l'air n'a pas été assez vicié pour devenir impropre à la combustion, et où l'espace à ventiler ne renferme pas de mélange explosif. Ces deux circonstances sont toujours réalisées dans les habitations; mais elles ne le

sont pas toujours dans les galeries des mines de houille, parce que ces galeries renferment souvent des carbures d'hydrogène, dont le mélange avec l'air pourrait produire de violentes détonations s'ils étaient en communication avec un foyer.

1919. Dans le cas que nous considérons, le foyer d'appel est toujours alimenté par une partie de l'air appelé. Lorsque la ventilation doit être peu considérable, on peut se contenter de placer dans la cheminée une lampe à double courant d'air (fig. 1re, pl. 110). Mais quand la ventilation doit être puissante, on emploie toujours un foyer alimenté par un combustible solide. La figure 2 représente la disposition la plus simple du foyer et de la cheminée. A est le foyer d'appel; B, la cheminée; D, la porte du foyer; et E, celle du cendrier, qu'on n'ouvre que pour enlever les cendres. Mais comme le combustible ne doit occuper qu'une partie de la surface de la grille, car autrement la température de l'air dans la cheminée serait trop élevée, et l'appel exigerait trop de combustible, cette disposition ne peut être employée que pour les combustibles qui brûlent facilement; elle aurait d'ailleurs l'inconvénient de diminuer la section de la cheminée par les barreaux de la grille. La disposition indiquée par la figure 3 est bien préférable; le foyer est latéral, toute la grille est couverte de combustible, et un registre G permet de faire passer à côté du foyer un volume plus ou moins considérable d'air. On peut aussi placer le foyer dans l'intérieur de la cheminée, comme on le voit figure 4.

1920. La hauteur d'une cheminée d'appel a une grande influence sur l'effet produit, du moins quand le canal d'appel a une grande longueur, ou que l'air appelé éprouve, par une cause quelconque, une grande résistance; car alors (390), la vitesse d'écoulement est presque proportionnelle à la racine carrée de la hauteur.

1921. Mais des accroissements assez considérables dans la température de l'air écoulé ne produisent que des accroissements assez faibles de tirage, tandis que les consommations de combustible augmentent suivant une loi très-rapide. En effet, il résulte du tableau (383), que pour des excès de température de

30°, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100°,

les quantités d'air froid appelées sont proportionnelles aux nombres

4,93; 5,51; 5,98; 6,35; 6,66; 6,92; 7,13; 7,33.

Tandis que les quantités de chaleur consommées sont proportionnelles à chacun de ces nombres multipliés par l'excès de température, c'est-à-dire aux nombres

147; 220; 299; 381; 466; 484; 558; 641; 733.

Ainsi de 30° à 100° le tirage augmente dans le rapport de 1 à 1,5, tandis que la consommation de combustible augmente dans le rapport de 1 à 5. Le maximum d'effet aurait lieu, comme nous l'avons déjà dit, à 300° environ.

1922. On voit d'après cela, qu'il est toujours important d'employer des cheminées d'appel très-hautes, et très-larges, afin de ne porter l'air qu'à une température peu élevée.

1923. Les cheminées d'appel qui partent de la surface du sol ont rarement plus de 30 mètres de hauteur; mais celles qui sont employées à la ventilation des mines de houille, étant formées, en grande partie, par un puits qui descend jusqu'à la profondeur des travaux, ont souvent plus de 200 mètres de hauteur; pour ces dernières un prolongement plus ou moins considérable du canal au-dessus de la surface du sol est presque sans influence.

1924. Les cheminées d'appel présentent ces deux questions également importantes à résoudre : 1° déterminer l'effet produit par un appareil fonctionnant; 2° déterminer les dimensions d'une cheminée d'appel et la quantité de combustible qui doit être consommée pour produire un effet donné. Occupons-nous d'abord de la première question : elle peut être résolue de plusieurs manières.

1925. On peut d'abord mesurer directement l'effet produit, en observant la vitesse moyenne de l'air dans une section quelconque du canal, avant ou après le foyer. Ces sortes d'expériences se font avec une grande facilité au moyen de l'anémomètre de M. Combes, que nous avons décrit précédemment (300). Cette manière de mesurer l'effet d'une cheminée d'appel est applicable quelle que soit la forme du canal, pourvu que sa section ne soit pas trop petite, et que la vitesse de l'air soit au moins de $0^m,25$, et c'est la meilleure et la plus sûre; nous indiquerons cependant d'autres moyens, moins exacts, qu'on pourrait employer à défaut d'anémomètre.

1926. On obtiendrait une évaluation approximative de la dépense

de la cheminée d'appel, si on connaissait le poids du combustible brûlé par heure et la proportion n d'oxygène libre que renferme l'air dans la cheminée. En effet, en désignant par v le volume d'air rigoureusement nécessaire pour brûler 1 kilogramme de combustible, et par V le volume d'air appelé en outre, par la combustion de chaque kilogramme de combustible, on aura évidemment

$$n = \frac{V.0,21}{V+v}; \qquad \text{d'où} \qquad V = \frac{nv}{(0,21-n)}.$$

Par conséquent, le poids du combustible brûlé par heure étant représenté par P, le volume total d'air appelé dans le même temps, sera $Pnv : (0,21 - n) + Pv$. Mais cette méthode exige une trop grande précision dans l'estimation de la valeur de n; car n diffère en général très-peu de 0,21, et une petite erreur sur sa valeur en produirait une très-grande sur celle de V. Par exemple, en prenant $v = 9$, pour $n = 0,20$, on a $V = 180$; et pour $n = 0,205$, on aurait $V = 369$. Ainsi cette méthode ne peut pas être employée avec assurance.

1927. On pourrait aussi calculer approximativement l'effet produit par une cheminée d'appel, si on connaissait le poids du combustible consommé dans une heure, et la température moyenne de l'air dans la cheminée. En effet, désignons par P le poids du combustible brûlé par heure, par t la température de l'air dans la cheminée, et par x le poids total de l'air appelé, la quantité de chaleur développée sera 7500 P, et on aura

$$4.\frac{7500P}{x} = t; \qquad \text{d'où} \qquad x = \frac{4.7500P}{t} = \frac{30000P}{t}.$$

Cette formule suppose une houille de très-bonne qualité; mais comme en général on ne brûle dans les cheminées d'appel que de mauvaises houilles, on obtiendra un résultat plus approché en prenant pour P le poids du combustible employé diminué de celui des résidus.

1928. On parviendrait aussi à déterminer la dépense d'air par une cheminée d'appel, si on connaissait les dimensions du canal et la consommation de combustible. En effet, désignons par s la section de la cheminée, par t l'excès de la température de l'air de la cheminée sur celle de l'air extérieur, par v la vitesse d'écoulement, et par m la quantité de chaleur produite par seconde. Le volume d'air chaud écoulé par seconde sera vs;

son poids sera $vs.1{,}3:(1+at)$, et la quantité de chaleur nécessaire pour élever ce poids d'air à t°, sera $vs.1{,}3.t:4\ (1+at)$; ainsi nous aurons

$$m=\frac{vst.1{,}3}{4(1+at)};\qquad \text{d'où}\qquad t=\frac{4m}{1{,}3vs-4am}. \tag{1}$$

En désignant par L la longueur totale du canal, en supposant que sa section soit constante, ou celle d'un canal de même section que la cheminée qui présenterait la même résistance que le circuit réel, et en admettant que le frottement soit le même que dans un tuyau de terre cuite, nous aurons en même temps

$$v=8{,}85\sqrt{\frac{\mathrm{H}a t\mathrm{D}}{\mathrm{L}+4\mathrm{D}}}, \tag{2}$$

H et D étant la hauteur et le côté de la cheminée.

Les équations (1) et (2) peuvent alors servir à déterminer les deux inconnues t et v. En négligeant 4D par rapport à L, elles donnent

$$v^2=\frac{(8{,}85)^2.\mathrm{H}a\mathrm{D}.4m}{\mathrm{L}(1{,}3vs-4am)}=\frac{1{,}1748.\mathrm{H}.\mathrm{D}m}{\mathrm{L}(1{,}3.vs-0{,}0146m)},$$

d'où l'on tire

$$v^2\left(v-\frac{0{,}0112m}{s}\right)=\frac{0{,}903\mathrm{HD}m}{\mathrm{L}s}\ \ldots\ldots\ldots\ldots \tag{3}$$

Si on néglige d'abord le second terme du premier membre de l'équation (3), on obtiendra une première valeur de v, qui, substituée dans le second facteur du premier membre de l'équation, donnera une seconde valeur plus approchée, méthode de calcul qu'on continuera jusqu'à ce que deux valeurs consécutives diffèrent de moins de 0,01.

Supposons, par exemple, que la cheminée d'appel ait 20 mètres de hauteur, 1 mètre de section, le canal 600 mètres de longueur, et que la consommation de houille soit de 10 kilogr. par heure.

$$s=1;\quad \mathrm{D}=1;\quad \mathrm{L}=600;\quad \mathrm{H}=20;\quad \text{et}\quad m=\frac{7500.10}{3600}=21;$$

on obtiendra successivement pour v les valeurs suivantes :

0,84; 1,02; 0,90; 0,97; 0,93; 0,95; 0,95.

Ainsi la dépense par seconde sera de $0^{m}{,}95$, et par heure de $0^{m}95.3600 = 3420^{m}$, à la température de t°. L'équation (1) donne $t=90^\circ$.

1929. On peut également déduire de ces formules la température à

laquelle il faudrait élever l'air, et par suite la dépense de combustible, pour obtenir l'appel d'un volume donné d'air V. En effet, le volume d'air chaud qui s'écoule étant représenté par vs, on a

$$V = vs:(1 + at) = 8{,}85 . s \sqrt{\frac{HatD}{L(1 + at)^2}},$$

équation qui peut se mettre sous la forme $(1+at)^2 V^2 = nt$, en désignant par n, $(8{,}85)^2 . s^2 . HaD:L$, et qui donnera la valeur de t cherchée.

1930. *Cheminées d'appel dans lesquelles l'air appelé ne doit pas alimenter le foyer.* Il peut arriver qu'il n'y ait pas d'inconvénient à mêler la fumée avec l'air appelé, ou que le mélange ne soit pas possible; ce dernier cas se présente quand l'air appelé renferme des mélanges explosifs, ou quand il serait dangereux que, par l'action des vents, de l'air chargé de fumée rentrât dans les pièces ventilées.

1931. Dans le cas où la fumée peut être mêlée avec l'air d'appel, la disposition indiquée par la figure 5 (pl. 110) est la plus simple et la plus convenable; le foyer est placé latéralement et la fumée se rend directement dans la cheminée.

1932. Tout ce que nous avons dit relativement aux cheminées d'appel dont les foyers sont alimentés par l'air appelé, serait applicable au cas que nous examinons maintenant, attendu que le volume d'air appelé est toujours très-grand relativement à celui qui est employé à la combustion; il est rare que le premier volume ne dépasse pas 20 fois le second; c'est ce qui résulte de ce fait, que la température des gaz dans la cheminée excède bien rarement 50°.

1933. Reste enfin à examiner le cas où les gaz qui sortent du foyer ne peuvent pas être mêlés avec l'air appelé. Il faut alors, pour chauffer l'air dans la cheminée, employer des dispositions analogues à celles des calorifères. Les figures 6 et 7 (pl. 110) représentent les appareils les plus simples. Dans la première le foyer est latéral, et l'air brûlé monte dans un tuyau placé dans la cheminée; dans la seconde, c'est l'air d'appel qui s'élève dans le tuyau placé dans la cheminée. Mais dans ces deux dispositions on consommerait inutilement une grande quantité de combustible, parce que les surfaces de chauffe auraient une trop petite étendue, et que l'air qui doit être échauffé, marchant dans le même sens que la fumée, il y aurait très-peu de chaleur transmise.

1934. Une disposition beaucoup plus convenable est indiquée dans les figures 8 et 9; l'appareil de chauffage se compose d'un foyer latéral et de tuyaux horizontaux parcourus par la fumée et placés dans la cheminée. L'appareil représenté par les figures 10, 11 et 12 serait beaucoup plus convenable encore, et pourrait être établi après la construction de la cheminée. Il se compose de deux calorifères à tubes horizontaux comme ceux des figures 9 et 10 (pl. 80); un registre tournant oblige l'air d'appel à circuler autour des tubes. La figure 10 est une coupe verticale suivant xx'; la figure 11, une coupe horizontale suivant yy'; et la figure 12, une coupe verticale suivant zz'.

1935. La figure 13 (pl. 110) représente une espèce de calorifère construit par M. Coqueril pour chauffer l'air d'une cheminée d'appel. L'appareil est placé à côté de la cheminée, et consiste en un gros tuyau de tôle placé au-dessus du foyer et logé dans une enveloppe en maçonnerie qui communique par le haut et par le bas avec la cheminée d'appel. Cet appareil, par la mauvaise disposition des surfaces de chauffe, doit produire peu d'effet.

1936. On pourrait aussi chauffer l'air dans la cheminée d'appel, au moyen d'un calorifère à vapeur ou à eau chaude. La figure 14 représente un appareil dans lequel le chauffage de l'air a lieu par la circulation de l'eau chaude dans un tuyau qui forme deux hélices coniques.

1937. Dans le cas dont il s'agit, le combustible est employé moins utilement que quand la fumée est mêlée avec l'air d'appel; mais les appareils peuvent être construits de manière à utiliser les 0,9 de la chaleur produite dans les foyers.

1938. Tous les calculs que nous avons indiqués dans le cas où l'air d'appel alimente la combustion, seraient applicables au cas actuel, en diminuant de $\frac{1}{10}$ la puissance calorifique du combustible.

1939. Dans toutes les cheminées d'appel chauffées par l'air brûlé, que l'air d'appel soit ou non employé à produire la combustion, comme la vitesse d'écoulement de la fumée est très-petite, le tirage est fortement influencé par les vents, et il est indispensable de garnir le sommet de la cheminée d'un appareil destiné à soustraire le tirage à l'action des vents, ou mieux d'un des appareils décrits dans le premier volume, qui font concourir le vent à l'accroissement du tirage.

1940. Dans certaines circonstances on peut produire la ventilation

par les cendriers des fourneaux. Ce mode d'appel est certainement le plus ancien de tous, car c'est celui des cheminées domestiques et des poêles. Mais il a l'inconvénient d'être limité à 20 mètres cubes d'air par kilogramme de houille brûlé, quand les foyers sont disposés de manière à produire le maximum d'effet. Ce tirage peut suffire dans certaines circonstances, par exemple quand les foyers sont employés à d'autres usages que le chauffage de l'air, et qu'ils consomment une très-grande quantité de combustible, ou quand la ventilation ne doit pas être très-grande. Ce mode d'appel peut cependant être employé quand le foyer sert déjà à un objet quelconque, pourvu que la grille reste en partie découverte, et que les carneaux ainsi que la cheminée aient une section suffisante; mais on dépenserait autant de chaleur que par un foyer spécial pour l'appel, et avec certains combustibles, la faible température du foyer occasionnerait une grande perte de chaleur.

1941. La ventilation peut encore être produite par une machine ou par l'action directe de la vapeur; nous avons donné à ce sujet, dans le premier volume de cet ouvrage, tous les détails nécessaires; nous ne les reproduirons pas, mais nous examinerons d'une manière générale les circonstances dans lesquelles chaque mode de ventilation doit être préféré.

1942. Quand la ventilation n'exige pas que l'air, dans la cheminée d'appel, ait une grande vitesse, tous les modes de ventilation peuvent être employés. Mais si le travail à dépenser est peu considérable, s'il est inférieur à celui pour lequel on pourrait établir une machine à vapeur, la ventilation par la chaleur doit être préférée, à cause de la continuité de l'effet, de la simplicité des appareils, et du peu d'avantage qu'il y aurait à employer l'action directe des hommes ou des animaux. Si cependant une machine à vapeur se trouvait dans le voisinage, il serait plus avantageux de produire la ventilation au moyen d'un ventilateur à force centrifuge.

1943. Lorsque le travail qu'exige la ventilation est très-considérable, dans le plus grand nombre de cas, l'emploi des machines mues par la vapeur, est beaucoup plus avantageux que l'emploi d'une cheminée d'appel; mais l'avantage est d'autant moins grand que la hauteur de la cheminée est plus considérable. Dans tous les cas de ventilation des habitations, le ventilateur à force centrifuge, à ailes planes, et à enveloppe excentrique, doit être préféré à tous les autres appareils, à

cause de sa simplicité, de l'absence de tout ajustement et du peu de place qu'il occupe. Ce n'est que dans l'aérage des mines qu'on peut hésiter entre les différentes formes de ventilateurs et les machines à pistons. Nous reviendrons sur cette question à la fin de ce chapitre.

§ 4. — QUANTITÉS DE CHALEUR TRANSMISES PAR LES VITRES ET PAR LES MURAILLES DES HABITATIONS.

1944. Considérons une enceinte fermée de toute part, par des vitres, et par des murailles d'une même épaisseur, et supposons que, par un mode de chauffage quelconque, l'air intérieur soit maintenu à une température constante, supérieure à la température extérieure. Si au commencement du chauffage les murailles ont la température extérieure, elles s'échaufferont progressivement, et après un temps plus ou moins long chaque point aura acquis une température qui restera constante, tant que les températures intérieures et extérieures ne varieront pas. A cet instant le régime sera établi, un flux constant de chaleur traversera l'enveloppe, et l'on pourra considérer la surface intérieure des murailles comme ayant sensiblement la température de l'air intérieur.

1945. En désignant par t et par t' les températures intérieure et extérieure, si elles ne diffèrent que d'un petit nombre de degrés, la quantité de chaleur qui s'écoulera à chaque instant, sera proportionnelle à $t - t'$; et celle qui s'écoulera par heure et par mètre carré de muraille sera égale, d'après ce que nous avons dit (1828), à

$$\frac{KC(t - t')}{Ke + C}. \qquad (1)$$

1946. Ainsi, quand on connaîtra la conductibilité C des matériaux qui forment la muraille, la transmission K de sa surface extérieure, l'étendue de la surface intérieure, et la différence des températures intérieure et extérieure, on calculera facilement la quantité de chaleur transmise par heure de l'intérieur à l'extérieur.

1947. La température la plus convenable pour des lieux habités étant de 15°, en supposant une température extérieure de — 5°, qui est rarement dépassée dans nos climats, il suffira de calculer le chauffage pour une différence de 20°.

1948. Si les murailles sont en pierre de taille de l'espèce de celle qui est employée à Paris, on prendra $K = 9$, $C = 0,8$, $t - t' = 20$, et on trouvera que pour des épaisseurs de $0^m,20$; $0^m,30$; $0^m,40$; $0,^m50$; $0,^m60$, les quantités d'unités de chaleur qui seraient transmises par mètre carré, et par heure, sont

55, 41, 32, 27 et 23.

Dans les mêmes circonstances, si la muraille était en briques, les quantités de chaleur émises seraient de

45, 33, 25, 21 et 18.

1949. Les quantités de chaleur transmises seraient même un peu plus petites que celles que nous venons de trouver, attendu que les surfaces intérieures sont presque toujours à une température inférieure à celle de l'air; mais comme la différence est en général très-petite, nous n'y aurons pas égard.

1950. Quant aux vitres, on ne peut pas supposer que leurs surfaces intérieures soient à la température de l'enceinte, la différence est trop grande. On ne peut pas non plus se servir des résultats que nous avons obtenus dans le cas du refroidissement d'un vase recouvert successivement d'une ou de plusieurs cloches de verre, parce que les circonstances diffèrent complétement de celles dans lesquelles se trouvent les vitres des appartements. Pour déterminer la quantité de chaleur transmise par les vitres, j'ai employé un vase en fer-blanc formé de deux demi-cylindres concentriques dont les diamètres et les hauteurs différaient de $0^m,06$; les bords des deux enveloppes étaient réunis par une lame de fer-blanc; le vase était recouvert intérieurement de papier blanc, et sa partie supérieure était percée de plusieurs orifices qui donnaient passage à des thermomètres et à des agitateurs. Le vase étant rempli d'eau chaude, on observait la durée du refroidissement, d'un même nombre de degrés, quand la cavité intérieure du vase était fermée par un autre vase de même forme et de même dimension, et renfermant de l'eau à la même température, et quand cette cavité était fermée par une vitre ou par plusieurs plus ou moins espacées. La première expérience donnait la quantité de chaleur transmise par la surface extérieure du vase, les autres la somme des quantités de chaleur transmises par la

surface extérieure du vase et les cadres garnis de vitres qui fermaient la cavité ; alors il était facile de calculer les quantités de chaleur transmises par les cadres et par les vitres, et ensuite celles qui étaient transmises par les vitres seulement, en retranchant la chaleur transmise par les cadres, obtenue par d'autres expériences. Je rapporterai seulement les résultats de ces expériences.

Quantités de chaleur transmises, par mètre carré, par heure et pour une différence de température de 1°, *entre l'air extérieur et l'air intérieur.*

Une seule vitre	3,66.
Une seule vitre recouverte en dedans d'une mousseline légère.	3
2 vitres à une distance de $0^m,04$	1,70
2 vitres à une distance de $0^m,02$	1,70
2 vitres à une distance de $0^m,05$	2
2 vitres en contact	2,5

1951. Ainsi, en désignant par S la surface des murailles d'une pièce exposées à l'air libre, par S′ la surface des vitres, par t le plus grand excès de température qui puisse exister dans la saison la plus froide, et en conservant les notations déjà employées, la quantité totale de chaleur qui sera transmise et qui devra être fournie par les appareils de chauffage, sera

$$St.\frac{KC}{Ke+C}+3,7S't\ldots \qquad (2)$$

1952. Mais tous les appareils de chauffage, même ceux à eau chaude, n'étant pas permanents, il faudrait bien se garder d'en déterminer les dimensions d'après les nombres que nous venons de donner ; car tous doivent avoir un excès de puissance, destiné à rétablir le régime perdu pendant la nuit, et cela dans un petit nombre d'heures.

1953. Prenons pour exemple une muraille ayant $0^m,33$ d'épaisseur, dont la surface intérieure soit à 20°, et qui se trouve en contact par l'autre avec de l'air à 0°. Quand le régime est établi, la surface extérieure est à une température $t'=Ct:(Ke+C)$, qui dans le cas actuel est égale à 4. La densité de la pierre étant à peu près égale à 2, et sa chaleur spécifique à peu près 0,2, la quantité de chaleur renfermée dans chaque mètre carré de muraille, est égale à $330.2.0,2.12=1584$ unités de chaleur. Si la muraille était à 0°, on ne parviendrait jamais à l'échauffer au point qui correspond à une température intérieure de 20°, en ne four-

nissant à sa surface intérieure que la quantité de chaleur que perdrait sa surface extérieure si le régime était établi, à cause des pertes continuelles qui ont lieu pendant l'échauffement. Il faudrait même un temps très-long pour que la température de la surface intérieure approchât de 20°; car la perte pendant le régime serait seulement de 37 unités, et en supposant qu'il n'y eût pas de perte pendant l'échauffement de la muraille et que cet échauffement eût lieu uniformément, il faudrait plus de 42 heures pour introduire dans la muraille la quantité de chaleur qu'elle doit renfermer.

1954. Mais comme les intermittences du chauffage n'ont lieu que la nuit, les murailles n'ont jamais le temps de se refroidir complétement, et à chaque chauffage il ne faut fournir qu'une partie de la chaleur qu'elles doivent renfermer.

1955. Les phénomènes qui se produisent pendant le refroidissement des murailles, par leurs surfaces extérieures et par les vitres, ainsi que ceux qui accompagnent leur réchauffement, sont très-compliqués, et il serait difficile de calculer la perte de chaleur produite pendant la nuit, et la durée du réchauffement le matin, avec des appareils d'une puissance donnée. Il faut, pour cet objet, s'en rapporter entièrement à l'expérience.

1956. J'ai eu l'occasion d'étudier plusieurs chauffages à vapeur, et notamment un chauffage à vapeur construit dans une grande fabrique de drap, par un habile constructeur anglais, comme membre d'une commission, nommée à la suite d'une discussion entre le propriétaire et l'ingénieur, et chargée de juger de l'efficacité des appareils. Je ne rapporterai pas les détails de ces expériences, mais seulement les conséquences que j'ai déduites de toutes mes observations sur le chauffage, et qui s'accordent très-bien avec les règles pratiques des ingénieurs les plus expérimentés.

1957. Pour les chauffages intermittents, et pour des épaisseurs de murailles de $0^m,33$ à $0^m,35$, il faut calculer la puissance des appareils de chauffage en comptant à peu près sur 70 unités de chaleur par heure et par mètre carré de murailles, et sur 80 unités par mètre carré de vitres, le maximum de différence de température de l'air intérieur et de l'air extérieur pouvant être de 20°. Pour une autre différence maximum de température, ces nombres seraient dans le rapport de cette dif-

férence à 20. Avec ces surfaces de chauffe, la chaleur perdue pendant la nuit peut être restituée le matin en 3 ou 4 heures.

Si les murailles avaient d'autres épaisseurs, il serait assez difficile de prévoir dans quel sens varierait la perte pendant la nuit; car lorsque l'épaisseur est plus petite, la température de la surface extérieure est plus grande; mais elle décroît plus rapidement; et c'est le contraire quand l'épaisseur est plus grande. Cependant, d'après toutes les observations que j'ai eu l'occasion de faire, les nombres qui conviennent à des murailles de $0^m,33$ peuvent être adoptés pour des murailles de $0^m,25$ à $0^m,50$ d'épaisseur.

Pour les chauffages à eau chaude à basse pression, on peut se borner aux surfaces de chauffe que nous venons d'indiquer.

1958. Dans les circonstances habituelles, et avec les intermittences ordinaires dans le chauffage à vapeur ou à air chaud, on peut admettre que la perte de chaleur pendant la nuit est à peu près égale à un tiers de la perte de chaleur qui a lieu, dans le même temps, pendant le chauffage, pour la même température extérieure, et que cette fraction s'élève à $\frac{1}{2}$ dans le chauffage à eau chaude à basse pression.

1959. On calcule ordinairement les dimensions des appareils de chauffage par la capacité des pièces à chauffer, mais il est évident que la capacité est sans influence, puisque la chaleur ne se dissipe que par les vitres et par les murailles en contact avec l'air extérieur.

§ 5. CHAUFFAGE ET ASSAINISSEMENT DES MAISONS PARTICULIÈRES.

1960. Les maisons particulières sont chauffées, ou par des foyers découverts, ou par des poêles, ou par des calorifères. Nous résumerons d'abord les avantages et les inconvénients de ces différents modes de chauffage.

1961. Les cheminées simples, à foyers fixes ou mobiles, sont très-salubres, parce qu'elles provoquent une grande ventilation, due à ce qu'une très-grande partie de l'air appelé par la cheminée ne passe pas sur le combustible : pour les dimensions ordinaires des petites cheminées et des petits foyers, et pour une combustion d'environ 2 kilogr. de bois par heure, la quantité d'air appelé varie de 10 à 20 fois le volume d'air nécessaire à la combustion. Les foyers découverts ont en outre l'avantage de laisser voir le feu; cette circonstance est devenue un besoin qui coûte cher à satisfaire, mais auquel on ne renoncera pas.

1962. Mais quand on n'utilise que la chaleur rayonnante, et c'est ce qui arrive ordinairement, ces appareils consomment beaucoup de combustible, en produisant peu d'effet pour le chauffage; d'abord, parce qu'une partie seulement de la chaleur rayonnée pénètre directement dans la pièce, et que la chaleur rayonnée n'est qu'une partie de la chaleur totale développée; en second lieu, parce que l'air appelé par la cheminée n'étant pas préalablement chauffé, et arrivant directement de l'extérieur par les fissures des portes et des fenêtres, produit un refroidissement qui n'est pas toujours compensé par le rayonnement du foyer; de sorte que quand l'air extérieur est à une basse température, on parvient rarement par les foyers découverts, à maintenir dans les appartements la température convenable. En outre, lorsque les cheminées ne sont pas pourvues de ventouses d'une section suffisante, elles sont sujettes à fumer; et quand il y a des ventouses d'une grande section, comme elles débouchent toujours près du foyer, l'air qu'elles fournissent est appelé immédiatement par la cheminée, et l'air de la pièce n'est pas renouvelé.

1963. Les poêles, de quelque nature qu'ils soient, ont l'avantage de produire un chauffage très-économique, parce qu'ils peuvent utiliser presque toute la chaleur produite dans le foyer. Mais ils sont insalubres parce qu'ils ne produisent pas une ventilation suffisante.

1964. Les calorifères intérieurs jouissent des mêmes avantages que les poêles, et ils ont le même inconvénient, quand il n'y a pas de dispositions spéciales pour le renouvellement de l'air. Quant aux calorifères placés en dehors des pièces et qui les chauffent par des courants d'air chaud, les courants ne peuvent exister que par un renouvellement d'air; ainsi, ce mode de chauffage sera à la fois salubre et économique, si l'air n'est pas à une trop haute température, si le volume d'air qui traverse la pièce est suffisant, et si le calorifère n'est pas placé à une assez grande distance de la pièce pour qu'une grande partie de la chaleur de l'air échauffé se dissipe dans le trajet.

1965. Mais, par tous ces modes de chauffage, lorsque les appareils sont convenablement disposés, on peut satisfaire à toutes les conditions de chauffage et de ventilation.

D'abord, avec les foyers découverts, il est facile de faire disparaître complétement tous les inconvénients que nous avons signalés, excepté

pourtant celui de l'excès de dépense de ce mode de chauffage sur les autres. En effet, si le tuyau de cheminée a une section seulement suffisante, ou s'il est pourvu d'un registre au moyen duquel on puisse régler l'appel, et si par un des différents moyens que nous avons indiqués précédemment, ou par d'autres moyens équivalents, l'air extérieur appelé, introduit autour du foyer par un canal d'une section suffisante, ne pénètre dans la pièce qu'après avoir été échauffé à 15 ou 20°, il ne reste plus dans ce mode de chauffage que l'inconvénient d'une plus grande consommation de combustible qu'avec les autres appareils; mais cet inconvénient se trouve compensé par la vue du feu.

1966. Les poêles peuvent toujours être disposés de manière à chauffer l'air de ventilation ou par des tuyaux intérieurs, ou entre leur surface extérieure et une double enveloppe; mais il faut que le canal d'appel ait une section suffisante. En outre, la cheminée dans laquelle se rend le tuyau à fumée du poêle, est toujours assez large et assez échauffée, pour produire un appel suffisant, quand elle est ouverte par le bas sur une assez grande étendue.

1967. Quant aux calorifères, il est facile de voir, que quand ils n'occasionnent pas nécessairement une puissante ventilation, il est toujours facile de la leur faire produire.

Examinons maintenant avec quelques détails les dispositions des appareils de chauffage les plus convenables dans les principales circonstances qui se présentent.

1968. Pour les pièces vastes, élevées, dans lesquelles on ne séjourne que peu de temps, et dont les portes sont fréquemment ouvertes, telles que les antichambres, les salles à manger, les poêles sont très-convenables, surtout les poêles en terre cuite, ou à eau chaude, parce qu'ils se refroidissent lentement et que les foyers peuvent n'être alimentés qu'à de longs intervalles.

Le chauffage des antichambres par des poêles, est surtout très-avantageux, quand ces pièces sont contiguës à d'autres qui sont pourvues de cheminées, parce que les poêles peuvent alors servir à chauffer l'air appelé par les cheminées; mais il faut pour cela que les tuyaux placés dans l'intérieur des poêles aient une grande section, qu'ils communiquent avec l'extérieur par un large canal, et que les orifices de dé-

gagement de l'air chaud dans les pièces à cheminée aient aussi une grande section. Cette disposition est employée quelquefois; mais les bouches de chaleur sont beaucoup trop petites, rarement elles ont plus de 8 à 10 centimètres de diamètre, et leur ouverture est obstruée ou par des toiles métalliques ou par des découpures; ces bouches, ainsi que le canal par lequel l'air extérieur est appelé, doivent avoir une grande section, afin qu'elles fournissent un grand volume d'air à une température peu élevée. Les fumistes persistent à donner aux bouches d'écoulement de l'air échauffé de très-petites dimensions, parce qu'alors l'air en sort avec une très-grande vitesse et une très-haute température, et qu'ils pensent que l'effet produit par le calorifère est d'autant plus grand que la vitesse d'écoulement de l'air et sa température sont plus considérables; mais il n'en est rien, car le volume d'air écoulé augmente avec l'étendue des orifices, et les surfaces de chauffe transmettent d'autant plus de chaleur à l'air qu'il est à une basse température; d'ailleurs, il est important de ne pas échauffer trop fortement l'air, afin de ne pas lui faire acquérir une mauvaise odeur. Des poêles en fonte disposés comme l'indiquent les figures 10, 11 et 12 (pl. 72), seraient préférables aux poêles en terre cuite, surtout quand ces derniers sont engagés dans les murs. On pourrait de même n'alimenter les foyers qu'à de longs intervalles, en employant des houilles sèches, combustibles qui brûlent lentement et qui ont en outre l'avantage de ne pas produire de fumée. Les poêles à eau chaude présenteraient encore plus d'avantages.

1969. Lorsque les pièces servent de réunion à un grand nombre de personnes, et qu'elles communiquent à de vastes antichambres chauffées par des poêles, la chaleur produite par les appareils d'éclairage et par les personnes réunies, est en général assez considérable, pour qu'un foyer de cheminée suffise au chauffage et à la ventilation. Il arrive quelquefois cependant que dans les grands salons qui réunissent un grand nombre de personnes, l'air est tellement vicié, que les appareils d'éclairage en sont fortement affectés; mais le plus souvent cet effet ne provient pas d'une action insuffisante de la cheminée pour renouveler l'air, mais de ce que les orifices d'accès de l'air extérieur n'ont pas assez de surface; car, en général, les sections des cheminées des grands salons peuvent suffire à l'appel de l'air nécessaire à une très-grande réunion de personnes, quand toutefois l'air extérieur a un libre accès dans la pièce.

Je rapporterai à cette occasion une expérience qui a été faite dans une des salles de la société d'encouragement. En introduisant dans l'intérieur d'une cheminée dont le foyer était éteint, le tuyau d'un poêle de M. Chevalier, dont la fumée s'échappait à 107°, la cheminée appelait par heure de 1400 à 1600 mètres cubes d'air, indépendamment de celui qui alimentait le poêle; or cette ventilation aurait suffi à près de 300 personnes, et elle aurait été certainement beaucoup plus grande encore si le foyer de la cheminée avait été en activité. La cheminée avait à peu près $0^{m},20$ de section. Ainsi, dans la plupart des cas, les cheminées des salons sont suffisantes pour la ventilation; mais il est rare que ces cheminées produisent tout l'effet qu'elles peuvent produire, à cause de l'insuffisance des orifices d'appel.

1970. Ce qu'il y a de plus convenable pour les grands salons, consiste à placer sur la face opposée à celle où se trouve la cheminée, une large bouche ayant une section peu différente de celle de la cheminée, et alimentée par un calorifère placé dans une pièce voisine et communiquant avec l'air extérieur par un canal à grande section. On pourrait modérer à volonté la température de l'air appelé, en conservant cependant à la cheminée toute son efficacité. Les poêles d'antichambre convenablement disposés serviraient très-bien pour cet objet.

1971. Pour les pièces d'une plus petite dimension, qui sont constamment habitées, et par un plus petit nombre de personnes, il est nécessaire que l'appareil de chauffage, quel qu'il soit, satisfasse à la double condition du chauffage et de la ventilation. Mais, de tous les appareils généralement employés, il n'en est aucun qui remplisse ces deux conditions : les poêles chauffent mais ne ventilent pas, et les cheminées ventilent sans chauffer suffisamment. Il est cependant facile, comme nous l'avons déjà dit, de disposer les appareils de manière à leur faire produire ces deux effets au degré convenable.

1972. Les poêles, de quelque manière qu'ils soient disposés, pourvu qu'ils abandonnent la fumée à une température assez élevée, qui soit, par exemple, supérieure à 50°, et presque tous se trouvent dans ce cas, produisent dans la cheminée où ils versent leurs fumées, un tirage assez grand pour produire une ventilation suffisante quand on établit une communication entre la pièce et la cheminée. Ainsi, en fermant l'ouverture d'une cheminée dans laquelle débouche le tuyau d'un

poêle, par une plaque dans laquelle on aura ménagé des ouvertures susceptibles d'être augmentées ou diminuées, on pourra régler la ventilation au point convenable, quand elle ne doit pas être très-grande, ce qui a toujours lieu pour les pièces dont il s'agit maintenant. Cette disposition a été employée avec les poêles de M. Chevalier et on a obtenu de très-bons résultats : il ne pouvait pas en être autrement d'après l'expérience rapportée précédemment. Par cet arrangement, l'air appelé est fourni par les fissures des portes et des fenêtres; mais rien ne serait plus facile que de faire passer dans des tuyaux de chauffage, ou entre le poêle et une enveloppe, de l'air extérieur qui ne pénétrerait dans la pièce qu'après avoir été échauffé. Ce dernier mode de chauffage serait certainement le plus économique de tous; il n'aurait contre lui que l'inconvénient de ne pas laisser voir le feu, inconvénient qu'on pourrait même faire disparaître, en employant des poêles à portes glissantes qui pourraient rester plus ou moins élevées.

1973. Quant aux foyers découverts tels qu'on les construit généralement, tous ont un très-grand tirage et chauffent très-peu. Mais on peut réduire par un registre leur tirage au degré convenable, et on peut chauffer l'air d'appel au moyen de la chaleur de la fumée; les dispositions indiquées par les figures de 9 à 22 (pl. 68) satisfont à cette condition, et ces appareils pourraient être modifiés d'un grand nombre de manières.

1974. Ainsi, en résumé, pour les antichambres et les salles à manger des poêles à chauffage lent ou rapide, mais à grandes bouches d'air chaud alimentées par l'air extérieur et pouvant fournir à l'appel des cheminées des pièces voisines. Pour les salons, de grandes cheminées ordinaires à foyers fixes ou mobiles, avec ou sans registres, mais sans ventouses, à la condition d'avoir dans la même pièce et du côté opposé à la cheminée, de grandes bouches d'air chaud pouvant fournir un volume d'air égal à celui qui est dépensé par la cheminée. Enfin, pour les petites pièces d'habitation, des foyers découverts chauffant, par le rayonnement et par la fumée, l'air d'appel fourni par une ventouse d'une section suffisante, dont la cheminée est pourvue d'un registre, et la face antérieure d'un tablier mobile, qui permettent de faire varier l'activité de la combustion, l'appel et la température de l'air appelé.

Après ces considérations générales sur le chauffage des habitations, nous donnerons quelques exemples particuliers.

1975. La figure 1re (pl. 111) représente la disposition du chauffage d'une pièce X, qui n'avait point de cheminée. La pièce précédente Y, qui servait d'antichambre à la première, a reçu un calorifère A, garni d'une large bouche à air chaud D, et dont le tuyau à fumée BB débouchait dans la cheminée C, entièrement fermée par la partie inférieure. On a placé ensuite dans la pièce X un foyer découvert E dont le tuyau F traverse la salle Y, et vient se rendre dans la cheminée C. Cet appareil a bien réussi. On augmente à la fois le chauffage et la ventilation de la pièce X en augmentant l'activité du feu dans le foyer E. Cette disposition a été employée à l'École centrale. La pièce Y est occupée par les bureaux ; la pièce X est le cabinet du directeur. Cette dernière pièce, qui est très-élevée, et qui est éclairée par une très-grande fenêtre, n'avait jamais pu être chauffée : elle l'est maintenant très-facilement et avec un feu très-faible dans la cheminée E. La bouche D est rectangulaire ; elle a 0m,40 sur 0m,20; sa surface est 20 fois plus grande que celle de la bouche que le fumiste qui a construit le calorifère voulait établir ; mais c'est évidemment dans la grandeur de cette bouche que réside l'efficacité de l'appareil. Ce mode de chauffage n'a présenté qu'un seul inconvénient : les tuyaux de chauffe, dans le calorifère A, n'étant fixés qu'avec de la terre, comme dans les autres calorifères du même genre, il arrive que, quand le tirage de la cheminée E l'emporte sur celui de la cheminée B, un peu d'air brûlé, et par suite un peu de fumée, passe dans l'air chaud qui débouche dans le canal D. Cette quantité de fumée est très-petite, tout à fait insensible à l'odorat, mais à la longue elle finit par donner une légère teinte de bistre au mur qui est au-dessus de la bouche à air chaud. Le mélange d'une petite quantité de fumée à l'air chauffé dans les calorifères est inévitable, quand la vitesse du courant d'air chaud l'emporte sur celle de l'air brûlé, car on n'a aucun moyen de rendre étanches les joints des métaux et de la terre cuite. Mais on pourrait en faire disparaître les traces en employant pour combustibles du coke ou des houilles sèches, ou en brûlant un combustible quelconque, si on avançait dans la pièce l'extrémité du tube D, ou si on plaçait à la partie supérieure de la bouche une plaque inclinée qui éloignât la veine d'air chaud du mur.

1976. Les figures 2 et 3 représentent une pièce chauffée et ventilée par un poêle. A, B, C, sont trois dispositions différentes des orifices

d'appel de l'air de la pièce, dans la cheminée où débouche le tuyau du poêle. A et B sont des plaques de cuivre percées d'orifices rectangulaires séparés par des intervalles pleins de mêmes dimensions ; deux plaques identiques sont placées l'une sur l'autre ; l'une est fixe, et l'autre peut glisser sur la première d'une quantité égale à la largeur des espaces pleins ou vides ; par cette disposition on peut fermer à la fois plus ou moins tous les orifices. L'appareil C est analogue ; il est formé de deux plaques de cuivre circulaires, l'une fixe, l'autre mobile autour d'un axe passant par le centre commun; toutes deux sont divisées en secteurs égaux alternativement pleins et vides.

1977. On voit dans les figures 4 et 5 une disposition analogue appliquée à un poêle à enveloppe.

1978. Dans ces derniers appareils l'air de ventilation est fourni par les fissures des portes et fenêtres. Dans l'appareil représenté figure 6, l'air qui passe entre le poêle et son enveloppe arrive directement de l'extérieur par un tuyau A ; la fumée s'écoule dans la cheminée par le tuyau B et l'air par l'orifice C.

1979. La figure 7 représente les appareils de chauffage et de ventilation d'un grand salon. A est un calorifère métallique à air chaud et à double enveloppe, recevant directement l'air extérieur qui doit être échauffé; B est une cheminée située sur la face opposée, qui sert principalement de cheminée d'appel. Le calorifère A pourrait être placé dans une pièce voisine, et la bouche de chaleur contre le mur ou dans des colonnes qui seraient disposées de manière à les dissimuler. Les bouches doivent avoir au moins la section de la cheminée, et à peu près $0^{m},20$ pour les très-grandes pièces.

1980. La figure 8 est une disposition analogue à celle de la figure 6, mais dans laquelle la cheminée est formée de tuyaux. A est le tuyau d'appel d'air froid ; B, le tuyau à fumée ; C, le tuyau d'évacuation de l'air de la pièce ; il enveloppe le tuyau à fumée, afin que la chaleur de ce dernier produise le tirage nécessaire.

1981. Les figures 9 et 10 (pl. 111) représentent une disposition analogue à la précédente. Un calorifère A est placé entre deux croisées ; l'air brûlé s'écoule par les deux tuyaux B qui se réunissent dans une cheminée commune C ; l'air extérieur entre par les orifices annulaires D, D, qui environnent les tuyaux de sortie de l'air E. Ces derniers se rendent dans

un tuyau vertical qui enveloppe le tuyau à fumée. Les orifices de sortie E, E, sont placés sur la face antérieure de deux caisses placées dans les soubassements des croisées.

1982. La figure 11 représente une disposition dans laquelle l'air d'appel et l'air à sa sortie, sont chauffés dans le tuyau à fumée. AA, tuyau à fumée; BB, tuyau d'appel de l'air extérieur; ce tuyau est garni d'un appendice E, au moyen duquel, en fermant les registres *a* et *c*, et ouvrant le registre *b*, on peut faire passer l'air de la pièce dans le tuyau B. D, tuyau d'écoulement de l'air de la pièce.

1983. Toutes les dispositions que nous avons indiquées lorsque l'air appelé est fourni par les fissures des portes et des fenêtres, sont faciles à exécuter. Mais quand il s'agit de produire une ventilation d'air chaud, il n'en est plus ainsi, parce qu'en général les maisons particulières n'ont pas de tuyau d'appel, et que quand il existe des ventouses, elles ont presque toujours des sections trop petites; alors, il faut établir des communications à travers les planchers, et percer des murs, opérations qui présentent souvent des difficultés, et qui occasionnent toujours des frais assez considérables. Jusqu'ici les architectes ne se sont pas occupés des conditions de chauffage des appartements; tous les détails de construction des appareils sont abandonnés à des fumistes le plus souvent fort ignorants, qui se bornent à placer des poêles et des cheminées d'une forme élégante, sans s'inquiéter des effets qu'ils produiront.

1984. On a de la peine à comprendre que cet état de choses subsiste encore, quand on pense que l'énorme volume d'air qui s'écoule par les cheminées des appartements est uniquement fourni par les fissures des portes et des fenêtres, que l'absence de fumée est plutôt un accident qu'un état normal, et enfin, quand on songe au malaise et aux inconvénients de toute espèce que présente le mode de chauffage habituel. Mais il faut espérer que les architectes finiront par sentir la nécessité de s'occuper eux-mêmes, et avant la construction des maisons d'habitation, de toutes les conditions qu'exige un chauffage à la fois salubre et économique.

1985. Je suis persuadé qu'une maison à loyer, dont chaque pièce serait pourvue d'un tuyau d'appel d'une section suffisante, qui déboucherait dans l'appareil de chauffage, de manière à alimenter la pièce d'air chaud, présenterait de si grands avantages, que l'accroissement du prix des loyers, et la diminution des non-valeurs, indemni-

seraient promptement le propriétaire des dépenses que ces dispositions auraient occasionnées.

§ 6. — CHAUFFAGE DES ÉDIFICES PUBLICS.

1986. Nous ferons précéder l'examen des principaux cas particuliers, de quelques considérations générales sur les différents modes de chauffage, de ventilation, et de renouvellement de l'air dans les pièces.

1987. Le chauffage peut avoir lieu : 1° par des poêles de différentes formes et de différentes matières, renfermant de l'air chaud, de la vapeur ou de l'eau chaude, en mouvement; c'est-à-dire, par le rayonnement de surfaces échauffées, et le contact de l'air des pièces avec ces surfaces; 2° par de l'air chaud, chauffé dans des calorifères de différente nature placés au loin, ou chauffé dans l'espace qui se trouve entre le foyer et les pièces, par des tuyaux à fumée, à vapeur ou à eau chaude, logés dans des tuyaux d'un plus grand diamètre parcourus par l'air.

1988. Indépendamment de toute considération de ventilation et de dépense, les poêles à vapeur, ou à eau chaude, sont préférables aux poêles à air chaud en briques ou en métal, du moins pour les grands établissements, parce que ces derniers produisent des effets trop variables, que chacun exige un foyer particulier, et que les poêles en métal sont susceptibles de donner une mauvaise odeur à l'air quand la combustion est trop vive.

1989. Le chauffage intérieur à l'eau chaude à basse pression, est préférable au chauffage à vapeur, parce que les appareils à eau chaude sont beaucoup plus simples, plus faciles à diriger, qu'ils n'exigent point d'appareils d'alimentation, de nettoyage des chaudières, qu'ils s'altèrent moins par l'usage ; enfin, parce que la grande masse d'eau qu'ils renferment produit une grande régularité dans le chauffage, malgré les plus grandes irrégularités dans l'alimentation du foyer, et que le chauffage se prolonge longtemps après l'extinction du feu. Deux considérations seulement sont défavorables à ce mode de chauffage : c'est, d'une part, les effets fâcheux qui pourraient résulter d'une fuite dans les tuyaux ; en second lieu, la perte de chaleur provenant de la continuité du chauffage. Le premier inconvénient est réel, d'autant plus que les joints des tuyaux à eau sont plus difficiles à rendre étanches que ceux des tuyaux à va-

peur, et que la pression dans les appareils de chauffage est souvent considérable, du moins dans les étages inférieurs. A la vérité, les grands chauffages à eau chaude qui existent depuis longtemps en Angleterre et ceux qui ont été construits depuis quelques années en France par M. L. Duvoir, n'ont donné lieu à aucun accident grave; mais, malgré cela, et tous les soins qu'on peut apporter dans la construction des appareils, il y a quelques chances à courir et une surveillance à exercer qui diminuent les avantages de ce système de chauffage. Mais on peut diminuer les chances de fuite et atténuer leurs effets, en établissant des circuits partiels chauffés séparément par la vapeur, comme nous le dirons plus loin. Quant à l'accroissement de dépense résultant de la permanence du chauffage, il existe également, quoique le chauffage décroisse avec le refroidissement de l'eau; mais la perte de chaleur pendant la nuit excède peu cependant celle qui aurait lieu, si les appareils de chauffage ne fournissaient point de chaleur, parce que, dans ce dernier cas, le décroissement de la température intérieure ne serait pas beaucoup plus rapide, à cause de la grande quantité de chaleur renfermée dans les murailles. Dans les circonstances ordinaires, et quand les murailles sont épaisses, je pense que ces pertes sont dans un rapport qui n'excède pas celui de 3 à 2. Mais la continuité du chauffage, malgré son décroissement, diminuant le refroidissement que les murailles intérieures éprouveraient si le chauffage était suspendu, dispense de donner à l'appareil un grand excès de puissance, et la continuité elle-même présente, dans la plupart des circonstances, de grands avantages, et quelquefois même elle est indispensable.

1990. Quant au chauffage à eau chaude à haute pression, système de M. Perkins, les appareils sont simples, faciles à placer et à diriger; mais comme chaque circuit ne peut avoir qu'une longueur limitée, ce mode de chauffage ne peut être employé que pour échauffer des pièces voisines du foyer, et dont les surfaces de refroidissement ne dépassent pas une certaine étendue. D'après M. Gandillot, dans les appareils qu'il construit, la pression ne dépasse pas 5 atmosphères, les surfaces de chauffe transmettent deux fois plus de chaleur que dans le chauffage à vapeur, et le courant, pour une hauteur de 4 à 5 mètres, peut avoir 450 mètres de développement; d'après cela, un seul foyer pourrait chauffer des pièces voisines ordinaires ayant de 6000 à 7000 mètres

cubes de capacité. Ce mode de chauffage peut être avantageux dans un grand nombre de cas.

1991. Parlons maintenant du chauffage des pièces par de l'air chaud, chauffé dans des calorifères. De quelque nature que soit l'appareil, aussitôt que l'air chaud a un long trajet à parcourir pour se rendre dans le lieu qui doit être échauffé, ce mode de chauffage occasionne une perte très-grande de combustible, à cause du refroidissement de l'air dans les tuyaux de conduite. Cette perte est énorme quand les tuyaux sont placés dans le sol; et elle est encore très-grande quand les tuyaux sont isolés et entourés de matières peu conductrices. C'est un fait bien constaté par l'expérience, et qui résulte de ce que l'air n'a qu'une faible chaleur spécifique, qu'on ne peut jamais lui imprimer une grande vitesse, et par conséquent que les tuyaux de conduite doivent avoir une très-grande section et de très-grandes surfaces de refroidissement.

1992. Ainsi, le chauffage des pièces par de l'air chauffé dans des calorifères, ne peut être avantageux qu'autant que l'air chaud n'a pas un grand trajet à parcourir. Alors on peut employer les différents calorifères dont nous avons parlé. Les plus simples sont les calorifères à fumée; mais ils ont l'inconvénient de donner quelquefois à l'air une mauvaise odeur. Les calorifères à eau chaude sont compliqués, plus chers; mais ils exigent moins de surveillance et donnent des effets plus constants qui se prolongent longtemps après l'extinction du foyer.

1993. Si le foyer ne peut être placé qu'à une grande distance des pièces, il faut transmettre la chaleur par les corps qui, sous le même volume, renferment le plus de chaleur, et auxquels on puisse imprimer une grande vitesse, afin de pouvoir les faire circuler dans des canaux ayant une petite section, qui alors dans toute leur étendue ne transmettent qu'une petite quantité de chaleur. On ne peut alors employer que la vapeur et l'eau; et la vapeur est plus avantageuse, parce qu'on peut donner aux tuyaux de conduite une moindre section, et les contourner sans que les sinuosités s'opposent au mouvement de la vapeur. Lorsque le bâtiment qui doit être échauffé est à une grande distance du foyer, ou qu'il y a plusieurs bâtiments voisins à chauffer par un même foyer, on peut employer le mode de chauffage imaginé par M. Grouvelle. La disposition proposée par cet ingénieur consiste à établir, pour chaque bâtiment et même à chaque étage, un circuit à eau chaude, renfermant

un réservoir de 2 mètres de hauteur aux extrémités duquel aboutissent celles du circuit, et qui contient un serpentin dans lequel vient se condenser la vapeur fournie par une chaudière. Ce mode de transmission de la chaleur présente, sur le chauffage direct de l'eau, l'avantage de rendre indépendants les systèmes partiels de chauffage, de réduire la pression que supportent les appareils, et de n'exiger que des tuyaux de conduite d'un diamètre beaucoup plus petit et d'un moindre développement.

1994. Les tuyaux peuvent amener de la vapeur ou de l'eau chaude dans des calorifères placés dans les pièces à chauffer, ou peuvent être entourés d'une enveloppe dans laquelle l'air soit échauffé pour être versé ensuite dans les pièces.

1995. Dans presque tous les cas, la ventilation est trop petite, pour qu'il soit avantageux de la produire par un ventilateur mis en mouvement par une machine à vapeur, et on ne peut employer que des cheminées d'appel, ou des ventilateurs mus par des hommes; mais les cheminées d'appel produisent un effet plus régulier, plus assuré, et sont préférables. Il est toujours avantageux d'alimenter les foyers des cheminées d'appel par des houilles sèches, qui brûlent lentement, parce qu'on peut charger les foyers pour plusieurs heures. Lorsque la ventilation doit avoir lieu jour et nuit, il serait plus avantageux encore d'employer de l'anthracite et des foyers alimentés d'une manière continue par des trémies (661). Un calorifère à eau chaude, placé dans la cheminée, exigerait de trop grandes surfaces pour transmettre la chaleur; car, pour remplacer uu foyer brûlant 25 kilog. de houille par heure, il faudrait au moins 150 mètres de surface de chauffe, sans compter celle de la chaudière, et il faudrait plusieurs cheminées pour les placer.

1996. Enfin, relativement au mode de renouvellement de l'air des pièces, il est évident que les orifices d'accès de l'air chaud doivent toujours se trouver à la partie inférieure; mais les orifices de sortie peuvent être situés ou à la partie inférieure, ou à la partie supérieure.

1997. L'air chaud arrivant toujours dans les pièces à une température plus élevée que les pièces, le courant monte directement à la partie supérieure et sans augmenter beaucoup de section; alors, si les orifices de sortie sont placés dans le sol ou à une petite hauteur, l'air se distribue par couches horizontales de même température, et descend régulièrement en se refroidissant, quels que soient d'ailleurs le nombre et la

position des orifices d'appel. Il y a cependant contre les surfaces de refroidissement des remous occasionnés par la transmission de la chaleur, mais ils ne s'étendent pas à une grande distance.

1998. Si les orifices d'écoulement étaient placés à la partie supérieure, les veines d'air chaud qui s'élèvent verticalement, alimenteraient presque seules les orifices d'appel, et l'air environnant ne serait pas renouvelé. Ce renouvellement n'aurait lieu qu'autant que les orifices d'accès seraient répartis régulièrement sur toute la surface du sol.

1999. Ainsi on ne peut employer que deux dispositions pour le renouvellement de l'air : 1° des orifices d'accès et de sortie peu nombreux, placés à la surface du sol ou à une petite hauteur, mais situés sur des points éloignés ; 2° des orifices d'accès de l'air très-nombreux, uniformément distribués sur le sol, et des orifices de sortie situés à la partie supérieure.

2000. Le premier mode est d'une exécution plus facile que le second, et il occasionne moins de dépenses de construction ; mais il a l'inconvénient d'amener sur les personnes assemblées, des couches d'air renfermant déjà les émanations de la transpiration pulmonaire et cutanée dont il s'est chargé pendant la descente. Cependant, quand le renouvellement de l'air est suffisant, ces émanations étant disséminées dans un très-grand volume, il n'en résulte pas d'inconvénient sensible. Le second mode est sans contredit le meilleur, parce que l'air respiré est toujours pur. Tous deux exigent la même température dans l'air de ventilation ; mais si les murailles de la salle devaient être échauffées d'abord par un courant d'air chaud, on y parviendrait plus facilement et avec moins de dépense, en faisant parcourir à l'air deux fois la hauteur de la salle, qu'en le laissant monter seulement dans la pièce.

2001. Quant à la ventilation d'été, l'air appelé devant être à une température moins élevée que celui de la pièce, si l'air arrivait par la partie supérieure et sortait par des orifices placés dans le sol, il descendrait immédiatement sur le sol et gagnerait horizontalement ces orifices, de sorte que l'air de la pièce ne serait pas renouvelé dans toute son étendue ; pour que le renouvellement eût lieu, il faudrait que les orifices d'accès et de départ fussent uniformément distribués dans le plafond et dans le plancher. Mais si l'air froid entrant par le bas de la pièce est appelé par des orifices placés vers le haut, l'air s'élèvera progressivement par couches en s'échauffant par son contact avec les murailles et par la respiration,

et l'air de la pièce sera uniformément renouvelé. Il est évident que la plus mauvaise de toutes les dispositions qu'on puisse employer consisterait à placer dans le sol les orifices d'accès et de sortie.

2002. Le chauffage à eau chaude, par une circulation générale, pouvant être employé avec avantage dans certaines circonstances, nous donnerons quelques détails sur la disposition des appareils.

2003. Pour un bâtiment renfermant plusieurs étages, l'appareil se compose : 1° d'une chaudière à eau chaude ; 2° d'un tuyau d'ascension d'un grand diamètre, qui monte par le chemin le plus court jusqu'au point le plus élevé du bâtiment ; 3° d'un vase d'expansion qui termine la colonne d'ascension ; 4° de tubes de distribution horizontaux partant du vase d'expansion, en nombre égal à celui des pièces de chaque étage, et prolongés jusqu'à la distance des appareils de chauffage qu'ils doivent alimenter ; 5° de tubes verticaux, qui font suite à ceux dont nous venons de parler et qui communiquent avec les réservoirs à eau chaude ; 6° des appareils de chauffage ; 7° des tubes de retour d'eau disposés comme ceux de distribution, et qui se réunissent en un seul communiquant avec la partie inférieure de la chaudière.

2004. La chaudière doit être en tôle, à fond concave ou à foyer intérieur, quand la pression est peu considérable ; et cylindrique avec foyer extérieur, quand la pression excède plusieurs atmosphères. Dans tous les cas, elle doit être pourvue d'un trou d'homme. La surface de chauffe doit être assez grande pour que dans les jours les plus froids, lorsque la consommation de combustible est la plus grande, la fumée ne se dégage dans la cheminée qu'à une température peu supérieure à 200° ; et pour cela il suffit de prendre 1 mètre carré de surface de chauffe pour 2 kilogr. de houille à brûler par heure. La cheminée doit être pourvue d'un registre pouvant la fermer le plus exactement possible, et le cendrier doit être garni d'une porte, afin que, quand on cesse le feu, on puisse intercepter complétement le courant d'air dans le fourneau pour diminuer son refroidissement. Il est très-avantageux, surtout pendant les jours d'hiver qui ne sont pas très-froids, d'employer des houilles sèches, parce qu'elles peuvent produire des feux languissants sans perte de matière combustible, ce qui n'arriverait pas avec les houilles grasses ; elles ont d'ailleurs la propriété de brûler sans donner de fumée, tout en produisant autant de chaleur que les autres.

2005. M. Léon Duvoir, qui a construit plusieurs grands chauffages à eau chaude, emploie des chaudières formées de deux demi-sphères et de deux cylindres concentriques verticaux; le foyer est circulaire et placé au-dessous de la demi-sphère inférieure. Dans certains appareils, la chaudière est surmontée d'un calorifère à air chaud, formé de deux plateaux de fonte circulaires, réunis par un grand nombre de tubes de même matière; dans d'autres appareils, les deux cylindres concentriques qui forment la partie supérieure de la chaudière, sont environnés de deux canaux annulaires séparés, dans lesquels circule de l'air qui doit être échauffé, dont les surfaces extérieures sont parcourues de haut en bas et de bas en haut par la fumée, et qui renferment chacun un serpentin en fonte que l'eau, refroidie pendant sa circulation dans les conduits placés dans le bâtiment, parcourt avant de se rendre dans la chaudière. Ces dispositions sont compliquées et me paraissent sans utilité quand la chaudière a une surface de chauffe suffisante; dans le cas contraire, un grand nombre d'autres dispositions du calorifère à air seraient préférables; en outre les serpentins à eau chaude seraient mieux placés à côté du fourneau qu'autour de la chaudière, parce que l'eau qu'ils renferment se refroidirait davantage et que la vitesse de circulation serait plus grande. M. L. Duvoir se sert des foyers des chaudières comme foyers d'appel, mais la faible économie que présente ce mode d'appel (1940) disparaît et se trouve remplacée par une perte réelle quand la ventilation est considérable, parce que la température à laquelle l'air est versé dans la cheminée est plus élevée que celle qui suffit au tirage dans une cheminée d'appel ordinaire. D'ailleurs cette disposition ne peut pas être employée quand la ventilation doit être constante, parce que le foyer fait marcher dans le même sens le chauffage et la ventilation.

2006. Le tube d'ascension est ordinairement en fonte et doit être environné de matières conduisant mal la chaleur. Ce tube ayant un grand diamètre, il est difficile d'éviter l'emploi des compensateurs à boîtes à étoupe (1598).

2007. Dans les calorifères à eau chaude que nous avons décrits précédemment, le vase d'expansion était ouvert, ou fermé par un couvercle simplement posé sur les bords du vase, et un tuyau amenait dans le cendrier la petite quantité de vapeur qui pouvait se former : l'apparition des vapeurs à l'extrémité du tube avertit le chauffeur de modérer

son feu. M. Léon Duvoir a remarqué que la vapeur sortant du vase d'expansion par un tube placé à son sommet, entraîne beaucoup d'eau avec elle; cet effet provient de la même cause que dans les chaudières à vapeur, et on pourrait facilement y remédier en donnant au vase d'expansion une largeur suffisante pour que les orifices du tuyau d'ascension et du tuyau de départ de la vapeur fussent assez éloignés, ou en employant un vase intermédiaire (fig. 10, pl. 26) dans lequel l'eau, entraînée mécaniquement, se séparerait de la vapeur (888). Comme il est important de ne perdre ni la chaleur, ni l'eau provenant de la condensation de la vapeur, le tuyau de conduite de la vapeur pourrait être placé dans un canal parcouru par de l'air qui doit être échauffé. Dans les grands appareils, on introduit l'eau dans le vase d'expansion, et par suite dans tout le circuit, au moyen d'une pompe. Il est commode de placer le tube d'alimentation et le tube de dégagement de l'air et de la vapeur dans une partie latérale du vase d'expansion, à quelques centimètres l'un de l'autre, de manière que le niveau que l'eau doit conserver dans le vase, lorsqu'elle est chaude, soit compris entre les deux orifices; un robinet placé latéralement sur le tube d'alimentation et près du chauffeur, lui permet alors de reconnaître si le réservoir supérieur contient la quantité d'eau suffisante. Le réservoir doit avoir au moins $\frac{1}{20}$ du volume total de l'eau contenue dans les appareils.

2008. Dans plusieurs chauffages construits par M. Léon Duvoir, le vase d'expansion est exactement fermé et garni d'une soupape chargée directement d'un poids correspondant à un excès de pression intérieure de deux atmosphères; le tube à air et à vapeur est garni d'un robinet à portée du chauffeur. Cette disposition permet d'élever jusqu'à 135° la température de l'eau dans la colonne d'ascension, et par suite d'employer des tuyaux de conduite d'une plus petite section et des surfaces de chauffe d'une moindre étendue. Mais l'économie des surfaces de chauffe est en grande partie compensée par la plus grande épaisseur qu'il faut donner aux tuyaux de conduite et aux vases de refroidissement, et cette disposition présente des inconvénients tellement graves que je n'hésite pas à dire qu'elle doit être proscrite. En effet la soupape, si elle n'a pas fonctionné depuis longtemps, peut adhérer sur son siége, et alors, si un ou plusieurs robinets de distribution étaient fermés, ou si un dégagement d'air, dans certains points du circuit, arrêtait la circulation, le chauf-

fage serait ralenti ou supprimé dans certaines parties, et le chauffeur serait conduit à augmenter l'activité du foyer; il en résulterait un accroissement continuel de pression, qui pourrait occasionner la rupture de la chaudière ou des vases dans lesquels la circulation a lieu; en outre, la charge de la soupape est à la disposition du chauffeur, qui pourra l'augmenter à volonté, pour obvier dans un temps très-court, à l'effet d'une négligence dans son service. Si, par des circonstances particulières, il était nécessaire de chauffer l'eau à plus de 100°, par exemple quand le chauffage doit avoir lieu par l'air chaud seulement et que la ventilation est très-petite, et par conséquent que l'air doit être porté à une température élevée, tous les poêles devraient être en tôle, et la fonte employée uniquement en tuyaux d'un petit diamètre; il faudrait aussi, à la place d'une soupape de sûreté, se servir d'un manomètre à eau ou à mercure, en fer, d'un diamètre de plusieurs centimètres, disposé comme dans la figure 2 (pl. 23), et dont la grande branche aurait la hauteur correspondante à la pression maximum; le réservoir devrait être garni d'une soupape à air, afin que, par la condensation de la vapeur, le mercure ne pût pas entrer dans le réservoir. On pourrait aussi remplacer la soupape à air par la disposition indiquée (fig. 12, pl. 19). Mais il est toujours préférable de ne point établir de pression dans le vase d'expansion; à la vérité, les surfaces de chauffe doivent avoir un peu plus d'étendue, et les frais d'établissement sont un peu plus grands; mais sur chaque point du circuit la pression est constante et plus petite, circonstances qui diminuent de beaucoup les chances de fuite et de rupture.

2009. Les tubes de distribution partent du fond du vase d'expansion; ils peuvent être en cuivre, ou en fer, réunis par des vis, ou par des collets ou des emboîtements, garnis de mastic de fonte. Comme ces tuyaux sont d'un petit diamètre, le mode de jonction indiqué (1590), qui peut s'appliquer aux tuyaux de fer et de cuivre, serait préférable à tous les autres. Ces tuyaux ayant presque toujours une très-grande longueur, il est utile de leur donner une légère courbure qui détermine le sens des mouvements occasionnés par la dilatation, et qui permette un certain raccourcissement pour des températures inférieures à celle qu'avaient les tuyaux lorsqu'ils ont été mis en place. Dans tous les cas, on pourrait employer, dans une certaine partie de la longueur, des tuyaux flexibles sur lesquels se porteraient les effets de la dilatation.

Ces tuyaux sont ordinairement placés dans les greniers ou sous le plancher des étages supérieurs ; on doit les renfermer dans des caisses en bois remplies de paille ou de foin, afin d'éviter leur refroidissement. Chaque embranchement doit être garni d'un robinet qui permette de régler la quantité d'eau qui circule dans chaque circuit partiel ; les robinets ordinaires n'étant jamais parfaitement étanches, il est plus avantageux d'employer les robinets à soupape dont les tiges sont à vis et tournent dans des boîtes à étoupes (fig. 42, pl. 87). On emploie ordinairement autant de tuyaux qu'il y a de circuits ; cependant quand plusieurs tuyaux ont la même direction, il est plus avantageux de les réunir en un seul dans la partie commune du trajet, parce qu'il y a moins de matière employée et moins de joints ; mais les robinets se trouvent alors quelquefois à de trop grandes distances, et il peut en résulter des inconvénients pour le service. Les tuyaux doivent être supportés par des galets, qui leur permettent de prendre facilement les mouvements qui résultent de leur dilatation, et ils doivent avoir la pente nécessaire pour que l'air puisse se dégager lors du remplissage.

2010. Chaque tuyau de distribution communique avec un ou plusieurs tubes verticaux qui amènent l'eau chaude dans les appareils de chauffage correspondants des différents étages. Les tubes sont en cuivre ou en fer, réunis par la méthode indiquée (1590), et un peu courbés. Les appareils de chauffage consistent ou dans des poêles, ou dans des serpentins, ou dans de grands tuyaux de fonte logés dans des caniveaux pratiqués dans l'épaisseur des planchers, et dans lesquels circule de l'air qui se dégage dans les pièces qui doivent être échauffées. Les poêles sont des cylindres en fonte ou en tôle, ordinairement traversés par un ou plusieurs tuyaux verticaux ouverts par les deux bouts ; l'eau chaude y arrive par un tube qui se prolonge dans l'intérieur jusqu'à une certaine hauteur, et en sort par un autre tube fixé sur le fond ; chaque poêle est percé à la partie supérieure d'un petit orifice fermé par un bouchon à vis, et qu'on ouvre quand on remplit l'appareil, pour laisser dégager l'air. M. Léon Duvoir emploie des poêles en fonte formés de deux cylindres concentriques ; le petit cylindre est ouvert par les deux bouts et donne passage à de l'air pris à l'intérieur ou à l'extérieur qui, après s'être échauffé, se rend dans la pièce ; l'intervalle des deux cylindres renferme de l'eau ; le fond du vase annulaire et les parties cylindriques ne forment

qu'une seule pièce, et la partie supérieure est fixée par du ciment de fonte et un grand nombre d'écrous. Quelquefois les surfaces extérieures sont polies. Ces poêles, avant d'être posés, sont essayés sous une très-grande pression, et il paraît que, jusqu'ici, ils n'ont éprouvé aucun accident. Mais ces deux circonstances ne sont pas suffisantes pour en motiver l'usage, à cause de leur grand diamètre et des grandes pressions qu'ils éprouvent dans les rez-de-chaussée des bâtiments élevés, même quand le vase d'expansion est ouvert; car les essais des poêles sous des pressions beaucoup plus grandes que celles qu'ils doivent supporter, mais qui ne durent jamais qu'un temps très-court, ne peuvent pas donner l'assurance qu'ils résisteront toujours sous des pressions permanentes beaucoup plus petites, et les appareils construits jusqu'ici ne datent que de quelques années. D'ailleurs, dans les conduites d'eau, il y a très-souvent des tuyaux qui cassent, malgré la faible variation de température qu'ils éprouvent, et cependant ils ont toujours été essayés sous des pressions beaucoup plus considérables que celles qu'ils supportent habituellement; les chemises des cylindres des machines à vapeur, qui sont disposées de la même manière que les poêles de M. Léon Duvoir, cassent quelquefois, malgré les épreuves qu'elles ont subies. Enfin, c'est un principe bien reconnu que la fonte ne convient, pour soutenir de grandes pressions, que quand elle est en tuyaux d'un petit diamètre, et qu'on ne doit l'employer pour des vases d'un grand diamètre que quand il y a impossibilité complète de la remplacer par de la tôle.

Les poêles en tôle, qui ne sont pas d'ailleurs d'un prix plus élevé que ceux de fonte, à cause de la différence des épaisseurs qui compense la différence des prix de ces métaux, doivent être, à mon avis, toujours préférés aux poêles de fonte, à moins qu'il ne s'agisse de poêles d'un petit diamètre. Quant au polissage de la fonte, comme cette opération occasionne une dépense considérable, des soins de tous les jours, et qu'elle diminue la transmission de la chaleur dans le rapport de 8 à 5, il est évident que c'est une chose fort mal imaginée.

Les poêles sont employés de plusieurs manières. Souvent leur surface est libre; d'autres fois ils sont environnés d'un manchon, et traversés par des tubes, et le manchon et les tubes sont parcourus par l'air de la pièce ou par de l'air venant du dehors. Il serait utile de placer les poêles sur des bassins en zinc ou en plomb très-mince, qui recevraient

les petites quantités d'eau qui pourraient s'échapper, et d'où elles seraient conduites à l'extérieur par un très-petit tube. Cette disposition serait facile à exécuter quand le poêle renferme des tuyaux intérieurs ou une enveloppe, et qu'il chauffe de l'air extérieur. Lorsque le poêle est découvert, qu'il soit en tôle ou en fonte, on peut compter sur une transmission de près de 1000 unités de chaleur par mètre carré par heure, et pour une différence de température de 85°. Quand le poêle est environné d'un manchon de même hauteur, ouvert par le bas et par le haut, la transmission de la chaleur est plus petite à peu près de 0,1; mais si le manchon dépasse le poêle de manière que la section de la veine d'air augmente dans une grande proportion, la transmission de la chaleur peut être beaucoup plus grande que quand la surface du poêle est libre. Quant aux tuyaux intérieurs, la transmission de la chaleur n'a lieu que par le contact, et si la vitesse de l'air n'était pas plus grande que contre les surfaces extérieures des poêles, la transmission de la chaleur serait deux fois plus petite, mais dans les circonstances ordinaires elle est seulement plus petite de $\frac{1}{4}$, à cause de l'accroissement de vitesse de l'air; d'ailleurs, on peut augmenter de beaucoup la transmission de la chaleur par des lames de zinc ou de tôle qui s'échaufferaient par rayonnement et transmettraient à l'air une partie de la chaleur qu'elles auraient reçue; le même moyen pourrait être employé pour augmenter la transmission de la chaleur lorsque le poêle est couvert d'une enveloppe. La transmission de la chaleur est plus grande quand c'est l'air extérieur qui est admis autour du poêle ou dans la double enveloppe, parce que sa température est plus basse; mais alors le chauffage a lieu avec ventilation. Les enveloppes extérieures sont indispensables toutes les fois que les poêles sont en tôle, et qu'ils sont placés dans des pièces décorées; les enveloppes peuvent être en tôle mince, vernies et garnies de moulures; le plâtre aluné, qui acquiert une si grande dureté et qui peut si facilement prendre l'apparence et le poli du marbre, conviendrait également, car cette matière résiste à une température beaucoup plus élevée que celle que l'eau peut acquérir dans ces poêles.

2011. Les poêles peuvent être remplacés par des serpentins en fer, environnés d'une enveloppe dans laquelle circule l'air extérieur ou l'air de la pièce. Il est plus avantageux de donner au serpentin la forme d'une hélice conique que celle d'une hélice cylindrique. La disposition la plus

simple consiste à faire arriver l'eau par la partie supérieure de l'hélice, et à la faire écouler par la partie inférieure; mais alors, pour que les tuyaux ne soient pas apparents, l'hélice doit être appliquée contre un mur, et les tuyaux logés dans son épaisseur. L'hélice pourrait être placée au milieu d'une pièce, alors l'eau chaude arriverait à sa partie inférieure par un tube placé sous le plancher, et sortirait par la partie supérieure au moyen d'un tube de descente; mais la partie supérieure du serpentin devrait être pourvue d'un orifice fermé par un bouchon à vis, qui servirait à faire dégager l'air au moment du remplissage et qu'il faudrait ouvrir de temps en temps pour évacuer l'air qui se serait accumulé au sommet des spires. Cette opération devrait se répéter à des époques d'autant plus rapprochées, que le serpentin aurait un plus petit diamètre. En augmentant convenablement le volume du canal au point culminant, on éviterait la nécessité d'ouvrir aussi souvent l'orifice. Pour obtenir une grande surface de chauffe sous un très-petit volume, on pourrait employer plusieurs spires concentriques que l'eau parcourrait simultanément.

2012. On peut aussi chauffer les pièces par de l'air échauffé dans des caniveaux pratiqués sous les planchers, renfermant des tuyaux remplis d'eau chaude, et communiquant avec l'air extérieur et avec les pièces. Ce mode de chauffage est depuis longtemps employé en Angleterre, de préférence aux poêles, parce que la fonte en tuyaux présente beaucoup moins de chances de fuite ou de rupture, que quand elle est employée à former des réservoirs d'un grand diamètre.

Il est impossible de déterminer l'effet des surfaces de chauffe dans ce mode de chauffage, parce qu'il dépend de la section du canal annulaire parcouru par l'air, de la vitesse de l'air, et du chemin qu'il parcourt depuis son entrée jusqu'à sa sortie. Dans les circonstances ordinaires, lorsque l'air doit être chauffé de 40 à 50°, il ne faudrait pas compter sur une transmission supérieure à la moitié de celle qui aurait lieu si le tuyau était libre. Cette transmission serait plus petite, si l'air devait être échauffé à une plus haute température; dans le cas contraire, elle serait plus grande; et, dans tous les cas, elle varie dans le même sens que la vitesse d'écoulement. Lorsque l'air parcourt le tuyau avec une grande vitesse produite par un appel puissant, la transmission peut dépasser celle qui aurait lieu si le tuyau était libre.

2013. Les tuyaux de retour d'eau sont toujours logés sous le dallage des rez-de-chaussée ou à la partie supérieure des caves; comme les tuyaux de distribution, ils doivent avoir une pente suffisante pour le dégagement de l'air. Il est toujours très-avantageux de les employer comme surface de chauffe, en les plaçant dans des caniveaux où ils échauffent l'air destiné aux salles du rez-de-chaussée.

2014. Dans un chauffage à eau chaude, il est important, 1° qu'à chaque point culminant il y ait un orifice fermé par un bouchon à vis, et que les parties élevées du circuit aient toujours une grande capacité, afin qu'on ne soit pas obligé d'évacuer de temps en temps l'air accumulé, pour maintenir la continuité dans le circuit d'eau chaude; 2° qu'aucune partie du circuit ne soit formée de tuyaux de plomb ou de zinc, ou de cuivre soudé à l'étain.

L'accumulation progressive de l'air dans un coude, rétrécit d'abord la veine, et finit par interrompre la circulation; l'interruption n'a pas lieu aussitôt que l'air occupe l'espace qui se trouve au-dessus du plan horizontal mené par le point le plus bas de la courbure, parce que l'inégale densité de l'eau dans les deux colonnes produit une différence de niveau qui favorise l'écoulement à travers l'air, d'autant plus que la différence de température des deux colonnes est plus grande.

L'exclusion des tuyaux en plomb est motivée par le gonflement qu'ils éprouvent constamment par la pression, et qui finit par les crever. Celle des tuyaux de zinc résulte de ce que ce métal change de forme et de dimensions par la chaleur, sans revenir à son état primitif par le refroidissement, et qu'on est obligé d'employer les soudures à l'étain qui, se dilatant d'une autre manière que le zinc, cassent très-souvent; c'est par cette dernière raison qu'il ne faut jamais employer de tuyaux de cuivre soudés à l'étain.

2015. Lorsque les pièces à chauffer se trouvent au rez-de-chaussée, et sur caves, la disposition la plus simple consiste en une série de calorifères à eau chaude, chauffés par un même foyer, et versant de l'air échauffé dans chaque pièce. Dans toutes les dispositions de calorifères, comme il y a toujours des surfaces de chauffe qui rayonnent les unes sur les autres, il serait avantageux d'intercepter ce rayonnement par des plaques de tôle ou de zinc qui échauffent l'air par contact.

2016. Il est évident que, quand les pièces sont chauffées par de l'air

chaud, il faut nécessairement qu'il sorte de la pièce un volume d'air froid égal au volume d'air chaud qui entre. Quand le canal qui amène l'air chaud a une grande hauteur, que les portes et les croisées sont nombreuses et ferment mal, la pression que l'air chaud produit dans la pièce peut suffire à l'évacuation de l'air; mais cette ventilation n'est assurée que quand il y a une cheminée dans la pièce, ou qu'on pratique un orifice d'écoulement.

2017. Les dimensions de toutes les parties de l'appareil, ainsi que la consommation de combustible pour produire le chauffage et la ventilation, peuvent facilement être calculées d'une manière assez approchée.

On commencera par déterminer la quantité de chaleur qui sera transmise par les vitres et les murailles, dans les circonstances les plus défavorables, par la méthode que nous avons indiquée (1951). Supposons, par exemple, que le bâtiment renferme 1000^m de surface de murailles de $0^m,50$ d'épaisseur, et 200^m de vitres, que la température intérieure soit de 15°, et que la température extérieure la plus basse soit de -10°; la quantité de chaleur transmise par heure sera de

$$1000 \times 34 + 200 \times 4 \times 25 = 54000 \text{ unités.}$$

Pour avoir la consommation moyenne, il faut prendre la température moyenne des six mois de chauffage. A Paris, de 1840 à 1841, les températures moyennes des mois d'octobre, novembre, décembre, janvier, février, mars, ont été de

$$9^\circ,50 ; 8^\circ,01 ; 2^\circ,30 ; 2^\circ,50 ; 2^\circ,50 ; 9^\circ,10$$

dont la moyenne est de $5^\circ,65$; par conséquent, la différence moyenne de température sera de $15^\circ - 5^\circ,65 = 9^\circ,35$, et, par suite, la transmission moyenne sera de $54000 \times 9,35 : 25 = 20905$ unités. Comme les murailles éprouvent pendant la nuit un assez grand refroidissement, on s'éloignera peu de la réalité en supposant que la transmission de la chaleur est moitié de celle qui a lieu pendant le jour; alors la perte de chaleur pendant 1 jour, sera de $20196 \times 18 = 363528$, ce qui correspond à peu près à la chaleur développée par 72 kilogr. de houille, en supposant que chaque kilog. de ce combustible ne produise que 5000 unités de chaleur utilisée.

En supposant une ventilation de 10000 mètres cubes d'air par heure, pendant 10 heures, et une température de 45° dans la cheminée d'appel,

la chaleur nécessaire au chauffage de l'air à 15° sera de $100000 \times 1,3 \times 9,35 \times 0,25 = 303700$; celle qui sera consommée pour l'appel sera de $100000 \times 1,3 \times 30 \times 0,25 = 975000$, ensemble 1278700 unités qui correspondent à peu près à 255 kilogrammes de houille. Ainsi la dépense moyenne de combustible par jour serait d'environ 327 kilogrammes.

2018. Quant aux dimensions des différentes parties de la chaudière, il faut les calculer pour les jours les plus froids de l'hiver, lorsque la chaleur qu'elle doit fournir est de $54000 + 10000 \times 1,3 \times 30 \times 0,25 = 151500$ unités par heure, ce qui correspond à une combustion d'environ 30 kilogrammes de houille; alors la surface de chauffe de la chaudière sera de 15 à 16 mètres carrés.

2019. L'étendue des surfaces destinées au chauffage des pièces, dépendra de leur disposition et des diamètres des tuyaux qui y amèneront l'eau chaude et la reconduiront à la chaudière. Supposons d'abord que les surfaces soient libres, et considérons un circuit partiel, chauffant 3 pièces à trois étages différents, exigeant chacune par seconde 0,33 unités de chaleur, ce qui correspond à des pièces ayant chacune 24 mètres carrés de murailles, et 5 de vitres exposées à l'air. S'il n'y avait point de perte de chaleur par les surfaces des vases et des tuyaux, l'eau, dans tout le circuit, atteindrait, après un certain temps, la température de 100°, et la vitesse de circulation, d'abord très-grande, diminuerait progressivement, de manière à devenir nulle quand l'équilibre de température serait établi. Mais quand les surfaces des vases et des tuyaux perdent de la chaleur, par rayonnement et par le contact de l'air, il n'en est plus ainsi, car la quantité de chaleur apportée par le courant va constamment en diminuant, tandis que la perte de chaleur due au refroidissement augmente avec la température de l'eau. Ainsi, l'eau dans les vases, prendra une température constante, telle que la quantité de chaleur perdue soit, à chaque instant, égale à celle qui est apportée par le courant. Cela posé, supposons qu'un circuit partiel ait un développement de 100^m, que le tuyau ascensionnel ait 20^m de hauteur, et que le tuyau de circulation ait $0^m,03$ de diamètre, sa section sera de $0^m,0007$, et le volume d'eau qui le traversera par seconde sera $v \times 0,0007$; alors en désignant par t le refroidissement de l'eau dans la partie du circuit qui est employée au chauffage, la quantité d'unités de chaleur émises par seconde sera $v \times 0,70 \times t$, et on aura $v \times 0,70 \times t = 1$. Ainsi $v\,t = 1,43$.

Mais, la vitesse d'écoulement de l'eau est donnée par la formule

$$v = 26{,}50 \sqrt{\frac{DH}{L + 54D}},$$

dans laquelle D représente le diamètre de la conduite, L sa longueur, et H la charge qui produit l'écoulement. La dilatation de l'eau étant de $1:22 = 0{,}045$ pour 100°, est de 0,00045 pour 1°, et on a, $H = ht'.0{,}00045$; h étant la hauteur du circuit, t' l'excès moyen de la température de la colonne ascendante sur celle de la colonne descendante. En supposant le refroidissement uniforme, on a $t' = \frac{1}{2}t$, et par suite,

$$1{,}43 = 26{,}50 . t \sqrt{\frac{Dht.0{,}00045}{2(L + 54D)}},$$

formule qui donne

$$t = \left(\frac{2.(1{,}43)^2 (L + 54D)}{D.h.0{,}00045.(26{,}5)^2}\right)^{\frac{1}{3}} = 13°.$$

Ainsi l'eau chaude, au bas du circuit, aura 87°; et les poêles, au deuxième étage, au premier et au rez-de-chaussée, auront sensiblement 96°, 92° et 87°. D'après cela, si l'air des pièces doit être maintenu à 15°, les excès de température seront de 81°, 77° et 72°, et les surfaces de chauffe supposées toutes extérieures, seront données par les trois équations,

$$x.\ \frac{1000}{3600}.\ \frac{81}{85} = 0{,}33\,;\ y.\ \frac{1000}{3600}.\ \frac{77}{85} = 0{,}33\,;\ \text{et}\ z.\ \frac{1000}{3600}.\ \frac{72}{85} = 0{,}33\,;$$

équations qui donnent

$$x = 1^{m}{,}24\,;\ y = 1{,}^{m}36\,;\ \text{et}\ z = 1^{m}{,}38.$$

Si les surfaces de chauffe étaient disposées d'une autre manière, on pourrait déterminer l'étendue de leur surface, comme nous l'avons dit précédemment. Mais comme il y a un peu d'incertitude sur cette dernière détermination, il sera toujours utile de prendre des surfaces un peu plus grandes, ou d'employer les dispositions que nous avons indiquées pour augmenter leur effet.

2020. On peut aussi effectuer le chauffage à l'eau chaude en transmettant la chaleur à l'eau au moyen de la vapeur (1989). Dans ce mode de transmission, qui présente souvent de grands avantages sur le chauffage direct de l'eau, les appareils de chauffage se composent de poêles et de tuyaux pleins d'eau, sans pression, chauffés séparément, ou de circuits partiels chauffés seulement à une extrémité; la vapeur se con-

dense dans des tubes d'un petit diamètre plongés dans l'eau. Dans tous les cas, les surfaces de chauffe se calculeraient en supposant l'eau à une température de 80°, et les surfaces des serpentins, qui seraient incomparablement plus petites, se détermineraient comme nous l'avons dit (1210).

2021. Dans le chauffage par l'eau chaude, comme dans tous les autres modes de chauffage, quand il est important que la ventilation soit régulière, il est indispensable que le chauffage et la ventilation aient lieu par des foyers distincts, parce que ce n'est qu'à cette condition qu'on peut régler à la fois ces deux effets, et il faut autant que possible que la ventilation ait lieu par une seule cheminée.

2022. *Chauffage des amphithéâtres des cours publics.* Les amphithéâtres des cours publics qui sont fréquentés par un grand nombre de personnes exigent un chauffage pendant l'hiver et une partie de l'automne, et une ventilation dans toutes les saisons. On pourrait croire que la capacité des amphithéâtres, qui sont ordinairement très-élevés, renferme un volume d'air assez grand pour qu'il ne soit point nécessaire de le renouveler pendant la durée des leçons qui n'excède jamais 2 heures; mais il est rare que ce volume soit suffisant. En effet, dans les amphithéâtres remplis de spectateurs assis et serrés, chaque spectateur occupe au plus $0^m,33$ en surface horizontale; alors il faudrait que la salle eût au moins 18 mètres de hauteur pour contenir l'air nécessaire pour une heure; 36 mètres pour renfermer celui qu'exigerait une séance de 2 heures, tandis que dans les salles les plus élevées la hauteur dépasse rarement 10 mètres.

La première question à examiner est celle-ci. Faut-il fournir la chaleur absorbée par les vitres et par les murailles au moyen de surfaces rayonnantes, et ventiler avec de l'air à une température seulement suffisante de 15 à 18°? ou faut-il produire tout le chauffage par de l'air de ventilation à une température convenable? Le dernier mode est certainement le plus simple; mais avant de l'employer, il faut examiner si l'air ne doit pas être porté à une trop haute température. Supposons, par exemple, un amphithéâtre devant contenir 1200 personnes, la section horizontale de la salle sera au plus de 600 mètres; en la supposant formée d'un demi-cercle, son diamètre serait de 40 mètres; et en supposant 10 mètres de hauteur moyenne, la surface des vitres et des murailles serait à peu près de 1600 mètres carrés; en supposant que les vitres for-

ment 0,1 de la surface totale, et que les murailles aient $0^m,50$ d'épaisseur, la perte totale de chaleur pour une différence de 20° serait (1951) de $1440 \times 27 + 160 \times 80 = 51680$ unités, tandis que la quantité de chaleur nécessaire à l'échauffement de l'air de ventilation serait de $1200 \times 6 . 1,3 . 20 . \frac{1}{4} = 46800$. Ainsi l'air devrait pénétrer dans la salle à une température supérieure à 35° si l'air extérieur était à —5. Mais il faut remarquer que la quantité de chaleur produite par la respiration, et qui est employée à échauffer l'air et les murailles, est de $1200 \times 48 = 57600$. Ainsi, en réalité, la température de l'air ne devrait pas être élevée à une température supérieure à 15°, pour suffire au refroidissement des parois, d'autant plus qu'il est bien rare que les murailles soient exposées à l'air libre dans toute leur étendue.

2023. Ainsi, pour les grands amphithéâtres, la chaleur animale compense presque toujours la perte par les surfaces des vitres et des murailles; et il suffit de chauffer l'air de ventilation à une température très-peu différente de celle qu'on doit maintenir dans la salle.

Au reste, on peut dire que, dans le cas dont il est question, le chauffage a aussi lieu par rayonnement; car les spectateurs offrent des surfaces d'une grande étendue à une température voisine de 30°, et qui échauffent l'air par contact et les parois de l'enceinte par rayonnement.

2024. D'après cela, il sera toujours facile de calculer l'étendue des appareils de chauffage, ainsi que la consommation maximum de combustible. Il est important de remarquer que cette consommation variera peu avec le nombre des personnes renfermées dans la salle, parce que l'excès de température de l'air devra augmenter à mesure que le nombre des auditeurs diminuera.

Si le foyer peut être placé près de la salle, et si la chaleur n'est pas fournie par un système général de chauffage du bâtiment, un calorifère à air chaud suffit et doit être préféré, à cause de sa simplicité et de son prix beaucoup moins élevé que celui des autres appareils de chauffage; d'ailleurs c'est le mode de chauffage intermittent le plus avantageux.

2025. Mais les appareils devront avoir des surfaces de chauffe beaucoup plus étendues que celles qu'exigerait le maximum d'effet dont nous venons de parler, afin que l'on puisse élever d'avance, et dans un petit nombre d'heures, les murailles à la température qu'elles doivent con-

server pendant que la salle sera occupée, et pour obvier à un accroissement de conductibilité des murailles occasionné par leur humidité. Il serait aussi très-important, sous le rapport de l'économie du combustible, que le chauffage préalable des murailles eût lieu par une circulation du même air de la pièce dans le calorifère et du calorifère dans la pièce, et que les tuyaux de conduite de l'air chaud et la caisse fermée supérieurement par les gradins, fussent le mieux possible isolés du sol par des corps mauvais conducteurs, parce que la terre, surtout quand elle est humide, absorbe une très-grande quantité de chaleur.

2026. Si le bâtiment renfermait des caves ayant un très-grand développement, et inoccupées, il serait avantageux de les faire parcourir dans la plus grande longueur par l'air de ventilation; il en résulterait une économie notable de combustible pour le chauffage, et pendant l'été cet air pourrait être versé dans la salle, sans dépense, à une température peu supérieure à 12°.

2027. Pour répartir uniformément l'air et la chaleur dans la pièce, on peut employer deux moyens différents : 1° on peut faire arriver l'air chaud par un grand nombre d'orifices percés dans le plancher ou les marches de l'amphithéâtre, et le faire sortir par la partie supérieure; 2° on peut faire arriver l'air chaud par un petit nombre de bouches placées près du centre de l'amphithéâtre à une petite distance du sol, et le faire sortir par un grand nombre d'ouvertures percées dans la dernière contre-marche. Dans la première disposition, l'écoulement de l'air aurait lieu pendant l'hiver par le seul effet de l'excès de température de l'air sur celle de l'extérieur, et il faudrait employer une cheminée d'appel ou un ventilateur pour l'été. Dans le second, il faudrait une cheminée d'appel ou un ventilateur pour toutes les saisons.

2028. La première disposition serait évidemment la plus simple et la plus économique. Pour distribuer uniformément l'air chaud sous l'amphithéâtre, il faudrait le faire arriver par des tuyaux en tôle, également inclinés entre eux et percés d'orifices latéraux, dont les diamètres iraient en augmentant à mesure qu'ils seraient plus éloignés du calorifère. L'air chaud devrait sortir du plancher de l'amphithéâtre par un grand nombre d'orifices percés sous les bancs, et dont la surface totale fût assez grande pour que la vitesse d'écoulement de l'air ne dépassât pas $0^{m},20$. Au centre du plafond, ou au point le plus élevé, devrait se trou-

ver une lanterne par laquelle l'air s'écoulerait dans l'atmosphère; les orifices devraient être latéraux et disposés de manière que la pluie ne pût pas pénétrer dans la pièce, et que les vents fussent sans action sur le mouvement de l'air. On pourrait aussi faire écouler l'air par un ou plusieurs orifices percés dans les murailles à une hauteur plus grande que celle des derniers gradins, et communiquant avec une cheminée.

2029. Lorsque les orifices d'écoulement sont placés à la partie supérieure, et qu'on est dans l'impossibilité de placer des cheminées dans les combles, la ventilation d'été ne peut avoir lieu que par un ventilateur soufflant placé à côté du calorifère, ou par un ventilateur aspirant placé au-dessus de la lanterne. Quand les orifices d'écoulement sont pratiqués dans un mur à une hauteur seulement suffisante et communiquant avec une cheminée, cette cheminée peut servir à déterminer l'appel pour la ventilation d'été, et pour activer celle d'hiver, si le mouvement que l'air chaud tend à prendre naturellement n'est pas suffisant.

2030. La seconde disposition exigerait, comme nous l'avons dit, un appel permanent en hiver et en été. Si l'appel avait lieu par une cheminée, l'air devrait être échauffé de 40° environ, et la consommation de chaleur par heure, et pour 1000 personnes, serait de $1000 \times 6 \times 1{,}3 \times 40 \times 0{,}25 = 76000$, ce qui correspond à peu près à 13 kilogrammes de houille.

2031. Les figures 1re, 2 et 3 de la planche 112 représentent la disposition d'un projet fait il y a quelques années pour le chauffage du nouvel amphithéâtre de l'École de droit, mais qui n'a point été exécuté. La figure 1re est une coupe verticale passant par l'axe du bâtiment. La figure 2, la coupe horizontale par le plan XY; et la figure 3, la projection horizontale de l'amphithéâtre, en supposant qu'on ait enlevé le plancher. Le plan de la salle est un demi-cercle. Les auditeurs arrivent à la partie supérieure de l'amphithéâtre par des escaliers A placés dans un couloir annulaire qui environne la salle. La chaire est en B. Le calorifère C était placé dans un caveau situé au-dessous de la chaire. L'air chaud s'échappait par trois orifices, l'un destiné à alimenter des bouches D placées dans le soubassement de la chaire; le second débouchant dans le cabinet du professeur placé derrière la chaire; le troisième, le plus grand de tous, conduisait l'air chaud dans six tuyaux E, E′, E″, placés sous l'amphithéâtre et divisant sa circonférence en quatre parties égales. Ces tuyaux

d'abord horizontaux et en maçonnerie, devaient être ensuite en tôle et dirigés parallèlement à la pente des gradins; ils étaient fermés à leur extrémité, et garnis latéralement de petits tuyaux *g*, *g*, pour distribuer uniformément l'air chaud. Les orifices de dégagement de l'air dans la salle, *a*, *a*, *a*, au nombre de 100, étaient percés dans les planchers des gradins, mais ils auraient été beaucoup mieux placés dans les contre-marches, parce qu'ils n'auraient jamais pu être bouchés.

2032. A côté du calorifère devait se trouver un ventilateur à force centrifuge, destiné à pousser l'air extérieur dans le calorifère pendant les premiers jours de printemps et d'automne, où l'appel naturel de la salle n'aurait pas suffi à la ventilation, et le faire passer directement pendant l'été dans les tuyaux de distribution. Le travail d'un seul homme était suffisant dans tous les cas.

2033. *Chauffage de la Chambre des pairs.* Ce chauffage a été exécuté par MM. Rohaut et Musard d'après les plans de M. Talabot. En 1840, une commission nommée par M. le ministre de l'intérieur, sous la présidence de M. le baron Thenard, et dont MM. Gay-Lussac, Pouillet et Péclet faisaient partie, fut chargée d'examiner les effets des appareils et de donner son avis sur leur efficacité. C'est du rapport de cette commission que j'ai extrait les détails qui suivent.

2034. La planche 114 représente le plan de la partie du palais qui donne sur le jardin. ABBA est la salle des séances, dont le plancher se trouve à la hauteur du premier étage des bâtiments environnants. CDDC est un couloir demi-circulaire, qui existe au rez-de-chaussée, au premier et au deuxième étage. E, E sont les emplacements des escaliers des tribunes. FF, une salle de pas perdus servant en même temps d'orangerie. Au-dessus se trouve la bibliothèque, et de chaque côté des pièces occupées par les bureaux. Le but que s'était proposé l'ingénieur était de chauffer et de ventiler la salle des séances, les couloirs, l'orangerie, la bibliothèque et les pièces des pavillons.

2035. Les calorifères sont au nombre de 8. Ils sont placés au-dessous de la grande salle, quatre de chaque côté d'une galerie dont l'axe coïncide avec celui des bâtiments. Ils sont désignés dans la planche par les lettres *a*, *b*, *c*, *d*, *a'*, *b'*, *c'*, *d'*. Chaque calorifère est disposé comme l'indiquent les figures 6, 7, 8, 9, 10 et 11 (pl. 81). Il renferme 30 tuyaux de fonte horizontaux, traversés simultanément par l'air, de $1^{m},50$ de longueur

sur $0^m,16$ de diamètre, qui ont ensemble une surface de chauffe de $21^m,60$. Pour chaque calorifère la grille a 1 mètre de longueur sur 0,30 de largeur. Les quatre calorifères d'une même rangée ont une cheminée commune rectangulaire, dont la section est de $0^m,64$. La galerie prend l'air dans le jardin par un orifice *e* (pl. 114) à fleur du sol, et recouvert d'une grille. L'air qui doit être échauffé arrive par un couloir qui règne derrière les calorifères et qui s'ouvre dans le jardin comme la galerie, mais à une plus grande distance. L'orifice des prises d'air est représenté dans la planche par la lettre *f*.

En avant des calorifères, du côté de la prise d'air, se trouvent deux ventilateurs à force centrifuge *g*, *g'*, de deux mètres de diamètre, de $1^m,50$ de largeur et à 6 ailes, dont les orifices d'appel communiquent avec les canaux de prise d'air, et les circonférences avec les couloirs qui règnent derrière les calorifères.

L'espace *hh*, qui sépare les deux rangées de calorifères, est voûté, et l'intervalle qui se trouve entre cette voûte et celle de la galerie et les murs de derrière des calorifères, reçoit l'air chaud des deux premiers calorifères de chaque rangée, c'est-à-dire de ceux qui sont désignés par les lettres *a*, *b*, *a'*, *b'*. L'air chaud s'échappe de cette première chambre par de grandes ouvertures pratiquées dans la clef de la voûte de la galerie pour passer dans l'espace compris entre l'extrados de cette voûte et le dallage de la salle des gardes, qui se trouve au-dessus. L'air chaud passe ensuite dans deux autres chambres *i*, *i*, situées de chaque côté de la salle des gardes. De ces dernières chambres l'air chaud passe sous le plancher de la grande salle, d'où il s'introduit sous les gradins, et de là dans la salle par des orifices de 1 à 2 centimètres de hauteur qui règnent dans toutes les contre-marches, et qui forment ensemble une section de près de 4 mètres carrés. Près des orifices de sortie de l'air, les marches sont garnies de plaques de fonte qui sont chauffées par l'air. Les deux grandes chambres à air chaud *i*, *i*, placées de chaque côté de la salle des gardes, reçoivent l'air par deux grands orifices percés dans les murs près du sol et ayant $0^m,90$ de surface. Les orifices par lesquels l'air sort de ces chambres sont également au nombre de deux, et de même surface; tous sont garnis de registres : ceux du bas glissent dans des coulisses et se manœuvrent directement; ceux d'en haut tournent autour d'axes auxquels ils sont fixés et se manœuvrent au moyen de chaînes.

Dans les pièces *k*, *k*, adjacentes aux deux chambres *i*, *i*, se trouvent quatre ventilateurs, deux dans chaque chambre, de mêmes dimensions que ceux qui sont placés en avant des calorifères; ils sont destinés à prendre l'air des chambres *i*, *i*, et à le verser sous le plancher de la grande salle, les communications directes de ces capacités étant interceptées. Ces machines sont destinées à la ventilation d'été.

Les calorifères *a*, *b*, *a'*, *b'*, sont exclusivement destinés au chauffage de la grande salle.

Les calorifères *c* et *c'* qui servent au chauffage des couloirs et des deux grands escaliers, versent chacun l'air chaud dans un canal séparé qui traverse une des chambres *i*, *i*, et qui alimente 10 bouches placées dans le couloir du rez-de-chaussée CDDC, 2 placées au bas des escaliers E, E, et 4 qui se trouvent dans le couloir du premier étage. Ces calorifères alimentent aussi des bouches de la bibliothèque.

Les calorifères *d* et *d'* sont à haute température, et pour cela les tuyaux sont divisés par des cloisons en trois séries qui sont parcourues successivement par l'air. Ces calorifères alimentent 7 bouches de chaleur *s*, *s*, *s*, placées dans l'orangerie F, et à fleur du sol. Les caniveaux, qui sont placés dans l'axe de l'orangerie, se prolongent dans les pavillons qui terminent cette face du bâtiment, et aboutissent à des bouches placées dans les pièces du rez-de-chaussée de ces pavillons. La disposition de ces caniveaux est indiquée en lignes ponctuées.

2036. La figure 1re (pl. 115) représente sur une plus grande échelle la galerie qui renferme les ventilateurs, en coupe horizontale par deux plans situés à différentes hauteurs. La figure 2 est une coupe transversale de la galerie et des chambres à air chaud. Enfin la figure 3 est une coupe verticale de la grande salle par l'axe du bâtiment. L, galerie des calorifères. M, M, conduits de l'air. *l*, *l*, *l*, *l*, orifices de dégagement de l'air derrière les calorifères. N, N, conduits à fumée. *m*, *m*, *m*, orifices par lesquels l'air chaud passe sous le dallage de la salle des gardes. *n*, *n*, *n*, orifices par lesquels on peut faire passer de l'air froid dans l'air chaud pour en abaisser la température. *i*, *i*, chambres à air chaud. P, salle des gardes. Q, seconde chambre à air chaud placée sous l'amphithéâtre de la chambre. R, amphithéâtre sous lequel l'air chaud arrive par un grand nombre d'orifices. S, salle des séances. T, tribunes publiques.

L'air peut sortir de la salle ou par l'orifice du lustre, ou par des

orifices percés dans l'intérieur et à la partie supérieure des tribunes, d'où il se réunit à l'air chaud des couloirs pour se rendre ensuite, par les cages des escaliers de service, sous le comble qui surmonte l'orifice du lustre, et se dégager dans l'atmosphère.

2037. Les premières expériences ont été faites en opérant la ventilation de la salle par l'orifice du lustre; les suivantes en laissant sortir l'air par les portes entr'ouvertes des tribunes; les dernières par des orifices pratiqués dans les parties supérieures des tribunes.

Dans les premières expériences, qui n'ont duré que quelques jours, avec la ventilation par l'orifice du lustre, la température a été maintenue dans tous les points de la salle à 14 ou 15°. Dans les expériences qui ont eu lieu sans interruption du 18 décembre au 9 mars 1841, avec les deux autres systèmes d'appel, après trois ou quatre jours, la température à sept heures du matin, à l'instant où l'on allumait les foyers, a toujours été comprise entre 12 et 15°. De une heure à cinq heures, elle a toujours été voisine de 15°. Cependant, toujours depuis une heure la consommation de combustible avait été diminuée, et pendant un grand nombre de jours la température extérieure avait été de plusieurs degrés au-dessous de zéro. Ainsi les calorifères peuvent maintenir la salle à une température suffisante pendant les jours les plus froids de l'année.

Quant à la ventilation, elle a été mesurée lors des premières expériences et sans l'action des ventilateurs; elle a été trouvée de 12060 mètres cubes par heure. En supposant que la salle renferme 600 personnes, ce serait plus de 20 mètres par personne et par heure. D'autres expériences faites depuis ont donné des résultats peu différents. La ventilation, par la seule force ascensionnelle de l'air chaud, excède donc de beaucoup celle qui est nécessaire; d'autant plus que l'effet pourrait être augmenté, et par l'accroissement de surface des orifices, et par le jeu des ventilateurs.

2038. Pour reconnaître si la ventilation d'été serait suffisante par l'action des ventilateurs, on a suspendu le chauffage, et on a mesuré avec beaucoup de soin la vitesse avec laquelle l'air pénétrait dans les calorifères à air chaud, par l'effet de l'excès de sa température sur celle de l'air extérieur, et ensuite l'accroissement de vitesse qui résultait de l'action des ventilateurs. On a d'abord mis en mouvement les ventila-

teurs g, g', qui sont principalement destinés au chauffage d'hiver, pour accélérer la vitesse d'écoulement de l'air chaud. Toutes les circonstances étant les mêmes, l'accroissement de vitesse en un même point d'un des orifices de passage dans les chambres à air chaud, ces machines mises en mouvement chacune par un homme, a été de $0^m,25$; elle eût été beaucoup plus grande si l'air avait passé par les orifices n au lieu de traverser les calorifères. On n'a pas insisté sur ces expériences, attendu que, pendant l'hiver, la force ascensionnelle de l'air chaud suffit à la ventilation. Mais la commission a examiné avec beaucoup d'attention l'effet des quatre calorifères placés dans les chambres k, k, et qui sont spécialement destinés à la ventilation d'été. On a fermé les orifices qui établissent la communication des chambres i, i, avec la chambre supérieure Q qui règne sous le plancher de la salle, de manière que l'air n'ait d'autre issue pour passer des chambres i, i, à la chambre Q, que les ventilateurs; on a mesuré successivement la vitesse d'accès de l'air dans ces ventilateurs lorsqu'ils étaient en repos et en mouvement; les moyennes d'un grand nombre d'expériences ont été trouvées de $0^m,84$ et de $1^m,37$. Chaque couple de ventilateurs étant mis en mouvement par deux hommes, ainsi l'accroissement de vitesse a été de $0^m,53$. La vitesse que le mouvement de ces machines imprimerait à l'air en repos serait beaucoup plus grande, et on peut en obtenir une évaluation approximative en assimilant les deux vitesses observées à des effets produits sur l'air froid par les ventilateurs tournant avec des vitesses différentes, et en supposant que les effets produits soient les mêmes fractions du travail dépensé; car en désignant par v la vitesse que les ventilateurs imprimeraient à l'air en repos, par v' et v'' les deux vitesses observées, on a

$$v^2 = v'^2 - v''^2 = (1,37)^2 - (0,84)^2 = 1,17\,; \quad \text{et} \quad v = 1^m,08.$$

Mais en supposant que la vitesse que les ventilateurs imprimeraient à l'air en repos fût seulement égale à 0,53; comme les orifices d'appel sont au nombre de 4, d'une forme circulaire et de 0,80 de diamètre, le volume d'air que les ventilateurs pourraient envoyer par heure dans la chambre serait de 7200 mètres cubes, à peu près 12 mètres cubes par personne et par heure. Ainsi, sous le rapport de la ventilation, comme sous celui du chauffage, les appareils ont un excès de puissance qui ne permet pas de douter qu'ils soient suffisants dans tous les cas.

2039. Pour le chauffage des couloirs et des escaliers, voici ce qui a été observé. Dans les premières expériences, pendant lesquelles la ventilation avait lieu par l'orifice du lustre, le chauffage des couloirs et des escaliers était insuffisant. Dans les dernières, où la ventilation de la salle s'effectuait par les portes des tribunes, par les escaliers de service qui communiquent avec les escaliers et les couloirs des tribunes, la température des couloirs et des escaliers a toujours été suffisante. Celle du couloir du rez-de-chaussée a toujours été comprise entre 11 et 14°; celle des grands escaliers entre 10 et 12°; celle du couloir de la salle entre 10 et 13°, quand la salle était ventilée; et celle des couloirs des tribunes entre 12 à 13°.

2040. La consommation de houille a été de 469 hectolitres du 18 décembre au 8 mars, c'est-à-dire de $5^h,9$ par jour. Mais comme pendant les premiers jours du chauffage la consommation a été beaucoup plus grande, parce qu'il fallait échauffer la masse du bâtiment, il est plus exact de déduire la consommation moyenne de la consommation faite à partir du 1er janvier. On trouve qu'elle est à peu près de 5 hectolitres. En supposant que pour les 8 calorifères la consommation ait été la même, elle aurait été pour chacun de $0^h,62$, et celle des 6 calorifères affectés au chauffage de la chambre et de ses dépendances, aurait été de $3^h,75$. Mais comme les deux calorifères qui chauffent les couloirs et les escaliers, fournissent en même temps de l'air chaud à deux bouches de la bibliothèque, la consommation pour le service de la chambre est en réalité plus petite. En calculant la quantité moyenne de chaleur versée par ces bouches d'après leur section, la vitesse de l'air et sa température, on trouve que ces bouches consomment au moins $0^h,75$. La consommation de combustible pour le chauffage et la ventilation de la salle serait alors seulement de 3 hectolitres par jour.

2041. Les calorifères c et c' sont destinés, comme nous l'avons déjà dit, à chauffer l'orangerie, la bibliothèque qui se trouve au-dessus, et les deux pavillons. Il est résulté des expériences faites du 18 décembre au 10 mars, que la température moyenne de l'orangerie, de sept heures du matin à six heures du soir, a toujours été comprise entre 6 et 7°, quand la température extérieure était de 3 ou 4° au-dessus de 0°, et qu'elle ne s'est élevée à 10 que pour des températures extérieures supérieures à 5 ou 6°. Ainsi cette vaste salle, qui est réellement une salle de pas perdus, était suffisamment chauffée.

2042. La bibliothèque, placée au-dessus de l'orangerie, est chauffée par 6 grandes bouches d'air chaud, dont 4 proviennent des calorifères *d* et *d'* à haute température, et 2 des calorifères *c* et *c'* qui chauffent en même temps les couloirs et les escaliers de la salle des séances. Dans la bibliothèque, on a obtenu les mêmes résultats que dans l'orangerie, pour des températures extérieures inférieures à 0°; des thermomètres placés dans la bibliothèque n'ont jamais indiqué plus de 7 à 8°, et seulement 10° pour des températures extérieures supérieures à 5°. Ainsi la bibliothèque n'était pas convenablement chauffée.

Enfin les pièces qui se trouvent dans les pavillons ne reçoivent que de l'air froid.

L'inefficacité du chauffage de l'orangerie, de la bibliothèque et des pavillons résulte du refroidissement que l'air éprouve en parcourant les conduits placés sous le sol de l'orangerie. La température de l'air en sortant des calorifères à basse température étant de 80°, celle de l'air des calorifères à haute température de 140°, la température aux bouches de l'orangerie, à partir de celle du centre, était de 95°, 65°, 55°, 47° et 27°; et aux bouches de la bibliothèque elle était de 35° pour celles qui recevaient l'air des calorifères *c* et *c'*, et de 35° à 60° pour celles qui étaient alimentées par les calorifères *d* et *d'*.

2043. Par suite des faits que nous venons de rapporter, la commission a conclu : 1° que le chauffage et la ventilation de la salle étaient satisfaisants, mais qu'il était nécessaire de supprimer le passage de l'air chaud entre la voûte de la galerie L, et la salle qui se trouve au-dessus, attendu que cette salle était trop échauffée, et qu'il en résultait une grande perte de chaleur; 2° que le chauffage de l'orangerie et de la bibliothèque était complétement manqué.

Depuis, quelques modifications ont été faites dans les appareils de chauffage de la bibliothèque, mais elles n'ont pas produit d'amélioration sensible.

2044. Dans le système de chauffage et de ventilation que nous venons de décrire, le mode de renouvellement de l'air de la salle est très-bien entendu, car l'air respiré est toujours parfaitement pur; la ventilation d'hiver est très-convenable, car elle s'effectue seule; mais la ventilation d'été exige nécessairement une surveillance des hommes qui sont chargés de mouvoir les ventilateurs, et cette circonstance rend la ventilation

bien moins certaine que celle des cheminées d'appel. Dans le choix du mode de chauffage, l'ingénieur a été guidé par ce principe, qu'il fallait, avant tout, chauffer la masse des bâtiments. Ce principe serait bon, si ces masses étaient isolées; mais comme elles communiquent avec le sol par de très-grandes surfaces, elles propagent rapidement la chaleur et occasionnent de très-grandes pertes de combustible. Il paraît cependant que les conduits d'air chaud ont des sections bien plus petites que celles qui étaient indiquées dans le plan de M. Talabot, et que l'insuffisance du chauffage de la bibliothèque et des pavillons doit, en grande partie, être attribuée à cette circonstance.

2045. Récemment, le ministre des travaux publics a nommé une commission, présidée par M. le baron Thenard, composée de MM. Gay-Lussac, Pouillet, Seguier et Péclet, pour donner son avis sur le mode de chauffage le plus convenable pour chauffer toutes les pièces du palais.

2046. On ne pouvait pas penser à donner une plus grande extension, même en le modifiant, au mode actuel de chauffage, parce qu'il ne peut convenir qu'au chauffage des pièces voisines des calorifères. La conservation même des calorifères qui existent, et l'établissement d'un appareil destiné à chauffer la totalité du palais, excepté la salle des séances et les corridors, présentaient plusieurs inconvénients. L'administration du palais aurait été obligée de conserver à ses frais un chauffeur qui aurait été fort peu occupé; il aurait été difficile de trouver, ailleurs que dans la cave où sont construits les calorifères, un emplacement convenable pour placer les nouveaux appareils de chauffage; en outre, l'économie qui résulterait de la conservation d'une partie des calorifères, serait loin de compenser l'économie des frais de chauffage que présenterait un système occasionnant moins de perte de chaleur dans le transport; et enfin l'accroissement des frais d'établissement du nouvel appareil pour chauffer la chambre et ses dépendances serait insignifiant. Ces considérations et la nécessité de substituer, pour la ventilation d'été, une cheminée d'appel au travail incertain des ventilateurs, a déterminé la commission à proposer un système unique de chauffage pour tout le palais. La commission a ensuite admis en principe, que le chauffage à l'eau chaude circulant dans des tuyaux d'une grande section, devait être préféré à tous les autres modes de chauffage.

2047. M. Léon Duvoir ayant présenté un projet complet de chauffage du palais par l'eau chaude, dont les principales dispositions répondaient aux vues de la commission, comme ce constructeur a une grande expérience de ce mode de chauffage, et qu'il offrait de prendre des engagements qui présentent toutes les garanties désirables, relatives à l'exécution et à l'économie annoncée, la commission décida que le projet en question serait examiné dans tous ses détails, modifié s'il y avait lieu, et proposé au ministre des travaux publics.

2048. Les principales modifications introduites dans le projet proposé sont les suivantes. L'air destiné à la ventilation de la salle des séances devait être échauffé, en partie par la chaleur de la fumée transmise à travers une cloison en briques et une feuille de tôle ; dans la crainte qu'un excès de tirage accidentel dans la colonne d'air chaud, n'y introduisît de la fumée, la commission a exigé que le chauffage de l'air de ventilation de la salle n'ait lieu que par son contact avec des tuyaux à eau chaude. Le renouvellement de l'air de la salle des séances devait s'effectuer par des orifices d'accès et de sortie, pratiqués dans les parties basses de la chambre, et l'appel devait avoir lieu par les cendriers des fourneaux ; la commission a exigé que le mode actuel de ventilation soit conservé, sans aucun autre changement que l'établissement d'une cheminée d'appel au-dessus du lustre, pour la ventilation d'été. Dans le projet, le vase d'expansion devait être fermé et muni d'une soupape chargée directement d'un poids équivalent à une pression de 2 atmosphères; l'excès de pression a été limité à 1 atmosphère et demie, et la soupape sera remplacée par un manomètre à mercure ouvert à la partie supérieure. Les appareils de dilatation à boîtes, qui devaient être très-nombreux dans le projet primitif, seront réduits à un très-petit nombre. Enfin, les poêles, qui devaient être en fonte, seront en tôle. Après ces modifications, l'appareil de chauffage se trouvera disposé de la manière suivante. Dans la cave, où se trouvent les huit calorifères à air chaud, seront placés deux chaudières à eau chaude en tôle; de ces chaudières partiront deux tubes en fonte d'un grand diamètre, qui s'élèveront, par le chemin le plus court, dans les greniers des deux pavillons neufs qui donnent sur le jardin, et aboutiront chacun à un vase d'expansion; de chacun de ces vases partiront vingt tubes de distribution, de 0,03 de diamètre, en cuivre avec jonctions à vis, garnis de robinets à soupape et à boîte à

étoupes; chaque tube se prolongera jusqu'à l'angle d'une des pièces du premier étage, et alimentera successivement deux poêles placés, l'un au premier étage, l'autre au rez-de-chaussée. Les tubes se réuniront ensuite sous le dallage du rez-de-chaussée, où ils échaufferont de l'air destiné au chauffage de certaines pièces. Le tuyau de retour formera deux hélices placées dans le fourneau et logées dans des carneaux échauffés extérieurement par la fumée, qui échaufferont de l'air destiné au chauffage de la bibliothèque, des couloirs et des escaliers. Des tuyaux à eau chaude sont destinés au chauffage spécial de l'air de ventilation de la chambre; d'autres à chauffer de 50 à 60° de l'air qui pénétrera dans la chambre par de larges orifices situés à la partie basse, pour chauffer les murs avant les séances. Enfin, un foyer, placé dans le grenier qui se trouve au-dessus de la chambre, chauffera des tuyaux à eau chaude placés dans une cheminée d'appel qui se trouve au-dessus de l'orifice du lustre, et versera dans cette cheminée l'air brûlé en partie refroidi. Le devis des frais d'établissement s'élève à 180,000 fr.

2049. M. L. Duvoir s'engage, 1° à ne pas dépasser le devis, et se soumet à faire régler toutes les dépenses suivant la méthode ordinaire, à l'exception des deux calorifères, dont le prix est fixé à 20,000 francs; 2° à se charger pendant douze ans du chauffage, sous la condition de maintenir dans la chambre et dans les vestiaires, pendant les séances, une température de 18°; une température de 15° dans toutes les pièces habitées et dans la bibliothèque, une température de 12° dans toutes les pièces qui ne servent que de passage, et 10° seulement dans l'orangerie; de ventiler la salle des séances de manière à y faire passer de 7000 à 8000 mètres cubes d'air par heure, en hiver et en été; moyennant 35 fr. par jour de chauffage pour un chauffage continu de 7 mois, plus 5 fr. par jour de séance d'hiver, 10 fr. par jour de séance d'été, et 15 fr. en sus pour les jours de séance d'été, si l'on veut refroidir l'air de ventilation; 3° à remettre, après douze ans, les appareils en bon état, moyennant une somme annuelle de 2000 fr., pour les frais d'entretien.

2050. D'après cela, en supposant 7 mois de chauffage, 30 séances d'hiver et 10 séances d'été, le chauffage, la ventilation, et l'entretien des appareils, coûteraient annuellement 9600 fr., tandis que le chauffage actuel, qui a lieu par les appareils que nous avons décrits d'abord, par de petits calorifères distribués dans le bâtiment, et par des chemi-

nées, chauffage incomplet et insuffisant sur beaucoup de points, coûte maintenant 35,500 francs, et environ 10,000 fr. d'entretien. A la vérité, dans un certain nombre de pièces chauffées, on conservera des feux de cheminée, qui exigeront une certaine dépense; mais elle sera peu considérable, et l'établissement du nouvel appareil produira une économie considérable, même en tenant compte de l'intérêt du capital dépensé.

2051. Les pièces chauffées ont ensemble un volume de 60,000 mètres cubes; les murs ont de $0^m,50$ à $0^m,60$ d'épaisseur, leur surface totale est de 7870 mètres; la surface des fenêtres est de 3770 mètres. En prenant 15° pour la température moyenne de l'air dans les pièces, 7° pour la température moyenne de l'air extérieur, pendant les 7 mois de chauffage, l'excès moyen de température sera 8°, et la quantité moyenne de chaleur transmise par heure sera de $3770 \times 32 + 7800 \times 12 = 214240$ unités qui, en supposant un effet utile de 5000 unités par kilogr. de houille, correspondent à 43 kilogr. par heure moyenne de chauffage; alors pour huit heures de chauffage et une perte de chaleur équivalente pendant les interruptions, la quantité moyenne de combustible consommé par jour sera de $42 \times 16 = 672$ kilogr., qui, à raison de 4 francs les 100 kilogrammes, prix maximum de la houille en grandes masses, élèverait la dépense du combustible à 26 francs; et cette somme est même trop élevée, parce que les frais de chauffage sont faibles les jours fériés, que les pièces ne seront maintenues aux températures indiquées que quand elles seront occupées, que la température moyenne est réellement au-dessous de 15°, que la transmission de la chaleur à travers les murailles est un peu plus petite que celle qui a été supposée, attendu que leur température est un peu inférieure à celle de l'air des pièces, et que leur conductibilité est diminuée par les boiseries et les tapisseries. Ainsi la somme accordée est suffisante pour les frais de chauffage, le salaire du chauffeur et pour laisser à l'entrepreneur un bénéfice convenable.

2052. *Chauffage de la Chambre des Députés.* La salle des séances de la Chambre des Députés et ses dépendances sont chauffées par des calorifères, en même nombre et disposés de la même manière qu'à la Chambre des Pairs; deux sont destinés au chauffage des couloirs et des escaliers, quatre au chauffage de la salle. Mais le mode de distribution de l'air dans la salle et le mode d'appel sont très-différents. A la Chambre des Députés, l'air chaud se rend dans la salle par des orifices

percés dans la contre-marche du banc des ministres, qui se trouve dans la partie la plus basse, au centre de la salle; il est appelé dans un caniveau qui règne sous le dernier rang des bancs, et par des orifices percés dans le plafond des tribunes; de là, il se rend simultanément, par plusieurs canaux verticaux, dans une vaste cheminée, renfermant un foyer à coke, et terminée au-dessus du toit par de larges plaques de zinc percées de trous disposés comme ceux des mitres de Millet (fig. 3,pl. 6).

2053. La fig. 1 (pl. 116) représente le plan général des bâtiments. A, B, C, D sont les calorifères destinés au chauffage de la salle; E et F ceux qui sont affectés au chauffage des escaliers et des couloirs. Les flèches indiquent la direction du mouvement de l'air extérieur. La fig. 2 représente une coupe verticale de la salle; les prises d'air sont en *a*, *b* et *c*. Tous les conduits aboutissent à des cheminées d'appel ayant à peu près 3 mètres de section; ces dernières débouchent dans une cheminée de 3 mètres de côté, qui reçoit en même temps l'air brûlé d'un foyer à coke, alimenté d'air par les cheminées d'appel. Les fig. 4, 5, 6 et 7 (pl. 115) représentent le calorifère E, fig. 1 (pl. 116). La figure 4 est une coupe verticale suivant $x\,x'$ (fig. 6); la figure 5, une coupe verticale suivant $y\,y'$ (fig. 4); la figure 6, une coupe horizontale suivant $t\,t'$ (fig. 4); et la figure 7, une coupe verticale suivant $z\,z'$ (fig. 4) Les figures 8, 9 et 10 représentent une coupe horizontale et deux coupes verticales, perpendiculaires entre elles, du foyer d'appel; les grilles sont encaissées afin de produire une plus haute température dans le foyer, et par suite une meilleure combustion.

2054. On allume les foyers des calorifères plusieurs heures avant l'ouverture de la séance, et on laisse tomber les feux quand elle commence; la chaleur des conduits et la chaleur produite par les personnes réunies suffisent pour maintenir une température convenable. On n'allume que plus tard le foyer d'appel. Avant la séance, les couloirs et les escaliers sont chauffés par la circulation de la même masse d'air. La salle, les couloirs et les escaliers sont chauffés tous les jours, qu'il y ait ou qu'il n'y ait pas de séance. La consommation de houille a été de 613 hectolitres, du 19 octobre 1840 au 10 mars 1841, et par conséquent de 4,3 hectolitres par jour. La consommation de coke dans la cheminée d'appel est, moyennement, de 2 hectolitres par jour de séance.

2055. L'appareil de chauffage de la Chambre des Députés a été

construit par M. Talabot, mais avant celui de la Chambre des Pairs. Le mode de chauffage employé présente moins d'inconvénients qu'à la Chambre des Pairs, parce que le chemin parcouru par l'air chaud est plus court; mais le mode de renouvellement de l'air est bien moins convenable. L'air chaud, en sortant des bouches, s'élève rapidement au plafond, et les couches d'air descendent progressivement, en se refroidissant, jusqu'au niveau des orifices de départ; alors comme les gradins sont très-inclinés, le renouvellement de l'air à leur surface n'a lieu que par des doubles courants, et la température de l'air est plus élevée à la partie supérieure qu'à la partie inférieure. C'est là, sans aucun doute, la cause des inconvénients dont on se plaint (1091). On n'éviterait pas l'inégalité de température en plaçant les orifices d'appel dans la partie la plus basse de la chambre, car toujours les couches d'air auraient une température décroissante de haut en bas. Le seul remède consisterait dans une répartition uniforme de l'air dans toute l'étendue des gradins, comme à la Chambre des Pairs, et dans des orifices de sortie d'une étendue suffisante, placés à la hauteur des plafonds des tribunes. Le moyen d'appel est aussi moins favorable qu'à la Chambre des Pairs, parce qu'il exige toute l'année un foyer très-actif, tandis qu'au Luxembourg la sortie de l'air, pendant l'hiver, a lieu naturellement; mais avant d'entrer dans la chambre, l'air chaud parcourt un long canal vertical dont la force ascensionnelle facilite la sortie de l'air de la chambre, circonstance qui ne peut être réalisée à la Chambre des Députés. A la Chambre des Députés, l'air extérieur parcourt des caves d'un très-grand développement avant d'arriver dans les calorifères; cette circonstance est favorable à l'économie du combustible en hiver, et fournit de l'air frais pour la ventilation d'été. M. Talabot avait proposé pour la Chambre des Pairs une disposition qui aurait été plus efficace : elle consistait à prendre l'air d'appel dans des carrières abandonnées, dont plusieurs embranchements existent sous le jardin du Luxembourg. Ces longues galeries à air peuvent cependant avoir de graves inconvénients, quand elles sont d'un accès facile.

2056. *Palais du quai d'Orsay.* Ce palais, occupé par le Conseil d'État et la Cour des comptes, est aussi vaste que celui du Luxembourg, et renferme des pièces dont le volume total est aussi d'environ 60,000 mètres cubes. Ce palais est chauffé par un appareil à eau chaude construit

par M. Léon Duvoir. L'entrepreneur s'est engagé à maintenir dans les pièces une température de 15°, moyennant une somme de 30 francs par jour de chauffage, salaire du chauffeur compris. Cette condition est remplie, comme j'ai eu plusieurs fois l'occasion de m'en assurer. Les dispositions générales du chauffage me paraissent bien entendues, et tous les appareils en évidence sont construits avec soin et avec élégance. Mais une faute grave a été commise; rien n'a été prévu pour la ventilation. A la vérité, toutes les pièces de petite dimension sont pourvues d'une cheminée, et comme elles sont chauffées par de l'air chaud animé d'une assez grande vitesse, quand la température extérieure est peu élevée, les cheminées peuvent alors produire un renouvellement d'air suffisant. Mais il n'en est pas ainsi des grandes salles d'audience. Celle du Conseil d'État a été ventilée dernièrement par des orifices pratiqués dans le sol, près des fenêtres, et communiquant avec un canal qui vient s'ouvrir dans le cendrier du foyer de la chaudière à eau chaude. Mais, comme nous l'avons déjà dit, par l'appel d'un foyer qui sert en même temps au chauffage, on ne peut pas obtenir une ventilation régulière.

Pour les palais, et les grands édifices, je regarde le chauffage à l'eau chaude par des circuits partiels, ou par des poêles isolés chauffés séparément par la vapeur comme préférable au chauffage à l'eau chaude par une circulation générale, et parce que les réservoirs et les tuyaux de chauffage ne supporteraient pas de pression, et parce que les joints seraient plus faciles à maintenir étanches, enfin parce qu'une fuite aurait des inconvénients beaucoup moins graves. Une chaudière destinée à chauffer de l'eau par l'intermédiaire de la vapeur, alimentée par l'eau de condensation et marchant toujours à basse pression, ne présenterait d'ailleurs aucun inconvénient.

2057. *Théâtres.* Le mode le plus convenable de chauffage et de ventilation des théâtres, a été décrit par M. Darcet, dans des notes imprimées, en 1829, dans les Annales d'hygiène publique. Nous nous bornerons à une indication succincte des principes admis par M. Darcet, et qui satisfont à toutes les conditions.

2058. La salle doit être chauffée par l'air de ventilation, attendu qu'il suffit que cet air se trouve à une température peu supérieure à celle de 15°, pour fournir la chaleur transmise par les murailles. La faible déperdition provient de ce que les salles sont environnées d'une double

enceinte, formée par les couloirs, qui est toujours échauffée, et de ce que la chaleur produite par les spectateurs est considérable. L'air doit être chauffé dans des caniveaux renfermant des tuyaux à vapeur ou à eau chaude, et se répandre d'abord dans les couloirs, d'où il pénètre dans la salle par des orifices pratiqués entre le plafond de chaque loge et le plancher de celle qui se trouve au-dessus. Un petit vasistas placé au fond de la loge et à sa partie supérieure, permet d'appeler dans chaque loge de l'air du couloir. Il serait aussi très-utile d'établir un certain nombre de bouches dans le parterre, ou mieux encore de faire entrer l'air par un grand nombre d'orifices très-petits, distribués sur toute la surface du sol; il serait convenable aussi de placer dans les couloirs des poêles à vapeur ou à eau chaude. Le foyer doit être chauffé par des poêles à vapeur ou à eau chaude et par des cheminées. Les loges d'acteurs et le théâtre doivent être chauffés par des poêles à vapeur ou à eau chaude. Quant à la ventilation, la hauteur de la colonne d'air chaud, contenue dans la salle, serait suffisante, en hiver, pour produire un très-grand appel; mais on emploie dans toutes les saisons la chaleur développée par les lumières du lustre, en plaçant au-dessus de l'orifice du cintre une cheminée en planches, s'élevant de quelques mètres au-dessus du toit, fermée en dessus, garnie sur les quatre faces de jalousies fixes, et pourvue d'un registre tournant destiné à régler le tirage, parce qu'il dépasse presque toujours celui qui est nécessaire. Pour répartir l'air d'une manière plus uniforme, il serait nécessaire de faire communiquer les parties supérieures des dernières loges avec la cheminée, par des canaux en planches construits au-dessus du plafond de la salle. Une semblable cheminée, placée au-dessus du théâtre, permettrait d'évacuer rapidement, et sans les faire passer dans la salle, les fumées et les gaz qui se produisent dans certaines représentations. Il est évident que, pour ces établissements, on ne peut hésiter qu'entre le chauffage à vapeur et le chauffage par l'eau chaude à basse pression.

Malgré la facilité avec laquelle le chauffage et la ventilation des salles de spectacle peuvent être établis, il y a peu de salles qui soient convenablement chauffées et ventilées, et presque toujours les mauvais résultats obtenus proviennent de ce que les orifices d'accès de l'air dans la salle n'ont pas une surface suffisante.

2059. *Chauffage de la Bourse.* Ce chauffage a été établi en 1828,

d'après l'avis d'une commission composée de MM. Gay-Lussac, Thénard et Darcet. La salle de la Bourse ayant une très-grande capacité et une très-grande hauteur, un chauffage continu, à une température voisine de 15°, aurait été difficile à établir, et aurait exigé une grande consommation de combustible. D'ailleurs, la salle n'étant occupée que pendant un petit nombre d'heures de la journée, par des personnes presque continuellement en mouvement, on ne pouvait employer qu'un chauffage intermittent. La commission, dans son projet, a cherché à satisfaire seulement aux conditions suivantes : 1° échauffer une partie du sol; 2° verser dans la salle un volume d'air chaud suffisant pour la salubrité; 3° produire ces effets par un chauffage rapide. Le chauffage par la vapeur était le seul qui pût satisfaire à ces conditions, et c'est celui qui a été adopté.

2060. La chaudière à vapeur est placée vers l'angle sud-est de l'étage de soubassement. La chaudière est rectangulaire, un peu concave en dessous; elle a 4 mètres de longueur, $1^m,10$ de largeur, et $0^m,65$ de hauteur. Un tuyau amène à cette chaudière l'eau d'un réservoir supérieur, où se réunissent les eaux pluviales des combles. Lorsque celles-ci manquent, on y supplée au moyen d'un embranchement établi sur les conduits d'eau de la ville. La cheminée est en fonte de fer, elle a 25^m de hauteur et $0^m,36$ de diamètre.

2061. L'appareil principal est placé dans un caniveau pratiqué au-dessous du sol de la grande salle, au milieu et dans le pourtour des galeries. Le sol du caniveau est formé d'un dallage en pierre posé sur mortier hydraulique, et légèrement incliné vers la chaudière, de manière à faire écouler les eaux qui pourraient s'échapper par les joints. L'appareil de condensation, placé dans ce caniveau, se compose de quatre caisses en fonte qui occupent les quatre angles, et de trois conduits en fonte qui établissent la communication des caisses. La caisse la plus voisine de la chaudière en reçoit la vapeur par un tuyau qui communique avec elle; de cette caisse la vapeur passe dans les autres caisses par les tuyaux de fonte dont nous venons de parler. Les tuyaux ont 2 mètres de longueur, $0^m,16$ de diamètre intérieur, et $0^m,017$ d'épaisseur; ils sont réunis par des collets à boulons. Ils reposent sur des rouleaux en fer, et chaque système de tuyau est garni d'un compensateur placé au milieu de sa longueur. Les quatre caisses et toute l'étendue du caniveau sont recouvertes de plaque

de fonte, placées à feuillures dans des barres de fonte qui règnent dans tout le pourtour des caniveaux, et sont maintenues par des vis. Des ouvertures pratiquées de distance en distance, dans le fond des caniveaux, prennent dans les caves de l'air froid qui, après s'être échauffé autour des tuyaux, passe sous le dallage et ensuite dans la salle, et dans le vestibule d'entrée. L'appareil principal communique avec un poêle à vapeur, placé dans le vestibule, dont la partie inférieure est garnie d'un tuyau qui s'ouvre dans les caves, et qui sert à expulser l'air lors du chauffage, et à le faire rentrer lorsque l'émission de la vapeur est suspendue. Ce tuyau est garni d'un robinet, mais il est percé avant le robinet d'un petit orifice. Un second tuyau, communiquant directement avec la chaudière, et placé dans le caniveau dont il a été question, au-dessus des trois qui établissent la communication des caisses de fonte placées dans les angles, est destiné à chauffer des calorifères à vapeur placés dans différentes pièces. On avait pensé, à l'origine, que les eaux de condensation pourraient retourner directement à la chaudière par les tuyaux à vapeur, en marchant en sens contraire; mais il n'en a pas été ainsi, et on a été obligé d'établir des tuyaux pour le retour de l'eau, un au-dessous de la caisse la plus éloignée de la chaudière, et d'autres dans les calorifères.

2062. La figure 1re (pl. 117) est le plan de la Bourse au niveau du rez-de-chaussée; on a supposé que les plaques de fonte qui ferment les caniveaux étaient enlevées. 1, 1, porche et galeries extérieures. 2, 2, 2, vestibules. 3, logement du concierge. 4, grande salle. 5, 5, salles et bureaux des courtiers de commerce. 6, 6, bureaux du commissaire de police. 7, latrines. 8, salles des agents de change. 9, 9, bureaux des agents de change. 10, dépôt des cannes.

Les figures 2, 3 et 4 représentent le plan, et deux coupes verticales de l'angle de l'appareil principal le plus rapproché des chaudières. *a*, *a*, caisses d'angle. *b*, *b*, *b*, triple conduite entre les caisses. *c*, conduite amenant la vapeur dans la caisse la plus rapprochée de la chaudière. *d*, *d*, rouleaux en fer sur lesquels reposent les tuyaux. *e*, *e*, plaques de fonte qui recouvrent les caisses et le caniveau. *f*, *f*, ouvertures pratiquées dans le fond des caniveaux pour les prises d'air. *g*, *g*, conduits pratiqués à la partie supérieure des caniveaux, et par lesquels l'air chaud se rend dans la salle. *j*, calorifère à vapeur dans lequel se trouve le tuyau de dégagement de l'air. *k*, seconde conduite alimentant

les calorifères à vapeur. *l*, première branche de cette conduite alimentant deux calorifères placés dans les bureaux du commissaire de police et des courtiers de commerce. *mm*, seconde branche alimentant les autres calorifères.

La figure 5 est une coupe verticale faite en travers de la partie du caniveau la plus éloignée de la chaudière. La figure 6 représente les plaques de fonte qui ferment les caisses et le caniveau. Les figures 7, 8 et 9 représentent l'élévation, le plan, et une coupe verticale de deux calorifères chauffés par le même courant de vapeur; celui du rez-de-chaussée se trouve dans les bureaux des agents de change, celui qui est au-dessus dans les bureaux des transferts. *a*, petit tuyau pour la sortie et la rentrée de l'air. *bb*, portion du tuyau général, recevant le tuyau *a* et incliné de manière à laisser écouler l'eau qui s'y condense.

Les figures 10 et 11 représentent l'élévation, la coupe et le plan du calorifère *z*, figure 1re, et du tuyau de plomb par lequel s'écoule l'air contenu dans l'appareil principal. La figure 11 représente les robinets placés dans la partie supérieure et la partie inférieure de chacun des récipients du bureau des agents de change; ils sont disposés de manière à permettre de chauffer à volonté, ensemble ou séparément, ce récipient et celui qui se trouve au-dessus.

2063. La surface totale des tuyaux placés dans le caniveau de la grande salle est de 240m. Celle des plaques de fonte qui ferment le caniveau est de 177m,30. Les ouvertures par lesquelles l'air chaud se dégage dans la grande salle offrent ensemble une surface de 2m. La surface de chauffe des calorifères est de 50m. Les tuyaux de conduite, placés dans les caniveaux, présentent une surface de 48m.

Les plaques qui ferment les caisses placées aux angles du caniveau de la grande salle, sont maintenues à une température voisine de 95°. Celle des plaques de fonte qui ferment le caniveau est à peu près de 50°.

2064. L'appareil a coûté 86,000 francs. Le chauffage dure ordinairement du 1er novembre à la fin d'avril. Le chauffage de la grande salle a lieu de midi à cinq heures; pour les autres pièces de neuf heures à cinq heures. La consommation de combustible est à peu près de 68,000 kilogr. de houille pour toute la durée du chauffage, et de 419 kilogr. par jour.

La dépense moyenne par jour, y compris le salaire du chauffeur, est à peu près de 36 fr.

2065. Les nombres que nous venons de rapporter permettent de calculer approximativement la condensation, par mètre carré et par heure, des tuyaux renfermés dans les caniveaux. Les 50^m de surface de chauffe des calorifères, pendant les huit heures de chauffage de chaque jour, ont condensé $50 \times 1,87 \times 8 = 748$ kilogr. La consommation moyenne de combustible étant de 419 kilogr. de houille, qui correspondent à $419 \times 5 = 2095$ kilogr. de vapeur, les tuyaux placés dans les caniveaux ont dû condenser $2095 - 748 = 1347$, en négligeant celle des tuyaux de conduite. Or, la surface totale de ces tuyaux étant de 240^m, et ces tuyaux étant chauffés pendant cinq heures, la condensation par mètre carré et par heure est de $1347 : 240.5. = 1^k,12$.

2066. Le chauffage de la Bourse a été très-bien entendu et très-bien exécuté, et il a produit tous les résultats qu'on en attendait. Cependant, si on avait un pareil chauffage à construire, il serait utile d'isoler les parois du caniveau dans lequel sont placés les tuyaux de fonte, afin de diminuer la transmission de la chaleur dans le sol; il n'est pas douteux qu'on obtiendrait ainsi une économie considérable de combustible.

2067. Il y a quelques années, cet appareil a éprouvé un grave accident : les compensateurs des tuyaux qui établissent la communication des caisses placées aux angles des caniveaux de la grande salle, n'ayant pas été graissés et soignés convenablement, les surfaces métalliques en contact se sont rouillées et ont pris une adhérence telle, qu'elles n'ont pu glisser l'une sur l'autre, et que les parois des caisses de fonte ont été brisées. MM. Rohaut et Musard ont obvié, pour l'avenir, à un accident de cette nature, en remplaçant chaque compensateur en fonte par deux autres plus petits en cuivre, placés l'un à la partie supérieure, l'autre à la partie inférieure des deux tuyaux qui doivent être réunis; le premier servant au passage de la vapeur, le second à celui de l'eau, fig. 12 (pl. 88).

2068. *Chauffage de l'hôtel des Monnaies de Paris.* Ce chauffage, construit par M. Grouvelle, d'après le plan de M. Darcet, est produit par la chaleur qui résulte de la combustion des gaz qui se dégagent d'un four à coke. La planche 118 renferme tous les détails relatifs à ce chauffage.

Le four à coke est placé dans une cave près du grand escalier.

Il a 1^{m},60 de diamètre intérieur sur 0,46 de hauteur au centre. On le charge de 5 hectolitres par 24 heures. La cheminée a 0^{m},22 de diamètre; les deux évents 0^{m},054 sur 0^{m},03. La cheminée est d'abord en briques, au-dessus de la voûte elle est en fonte, et se dirige verticalement dans un des angles du grand escalier, jusqu'au palier du premier étage : là, elle s'incline, passe à travers un gros mur, et verse l'air brûlé dans un caniveau en briques recouvert par des plaques de fonte et un dallage en marbre, qui traverse obliquement la salle d'entrée ; ensuite dans un autre caniveau de 0^{m},16 de profondeur sur 0^{m},74 de largeur, recouvert de plaques de fonte nues, qui traverse le musée dans toute sa longueur. De là, l'air brûlé passe sous la plaque de la cheminée, dans un système de tuyaux verticaux, placés dans un cabinet situé derrière la cheminée, et enfin dans la cheminée.

Le tuyau vertical, placé dans la cage de l'escalier, est garni d'une enveloppe carrée en briques, de 0^{m},38 de diamètre intérieur. Cette enveloppe est percée à la partie inférieure d'une ouverture pour admettre l'air froid autour du tuyau, et à la partie supérieure de plusieurs orifices pour l'écoulement de l'air qui s'est échauffé en passant sur la surface du tuyau. On chauffe aussi de l'air sur la surface supérieure du four.

Il résulte, de deux années d'expérience, que la houille employée a rendu en coke de 0,65 à 0,70 de son poids, et de 1,52 à 1,55 de son volume. Le poids de l'hectolitre comble de coke a varié de 30 à 38 kilogr. Le coke produit est consommé dans les poêles de la Monnaie et dans le laboratoire d'essai.

2069. La figure 1re (pl. 118) représente le plan général du musée monétaire. La figure 2, la face antérieure du four. Les figures 3, 4 et 5, les coupes verticales et horizontales du four. La figure 6, une coupe à une plus grande échelle de tout l'appareil de chauffage. La figure 7, une coupe transversale de la cheminée en fonte et de son enveloppe. La figure 8, le plan de la cheminée du musée. La figure 9, une coupe verticale du caniveau de la salle, et la figure 10, l'élévation du système des tuyaux qui conduisent l'air brûlé dans la cheminée. *a*, four à coke. *b*, tuyau vertical en fonte, entouré d'une enveloppe en briques. *c*, caniveau placé sous le plancher de la salle d'entrée du musée. *dd*, caniveau recouvert de plaques de fonte qui traverse le musée. *e, e*, tuyaux dans lesquels s'élève l'air brûlé pour passer dans la cheminée de dégagement. *a'*, bouche d'air chaud

qui s'ouvre dans le cabinet des coins *b'*. *p*, calorifère placé sur le four où l'on chauffe l'air destiné au laboratoire. *q*, calorifère qui chauffe de l'air qui est versé dans l'escalier.

Pendant l'hiver 1832-1833, on a distillé par jour 5 hectolitres de houille; le chauffage a duré 6 mois 7 jours, pendant lesquels la consommation de houille a été de 960 hectolitres qui ont produit 1307 hectolitres de coke. Toutes les pièces sont convenablement chauffées.

2070. Le chauffage par la chaleur perdue des fours à coke présente de l'avantage quand on est obligé de faire cette fabrication, ou quand on a l'emploi ou un débouché assuré de l'espèce de coke qu'on obtient dans les fours. Il a pourtant l'inconvénient de produire une quantité de chaleur à peu près constante, tandis que celle qui est nécessaire au chauffage est très-variable, et de donner au chauffage une continuité qui n'est pas toujours nécessaire. Mais si le coke produit ne pouvait être employé que pour le chauffage ordinaire, ou vendu au prix du coke léger fourni au commerce par les fabriques du gaz destiné à l'éclairage, le mode de chauffage dont il est question, du moins à Paris, coûterait plus que l'emploi direct de la houille, car les usines à gaz fournissent du coke dont le prix, à poids égal, diffère peu de celui de la houille. En effet, à Paris, les prix actuels de la voie de houille et de coke léger sont à peu près de 65 et de 35 francs; en supposant que la voie de houille pèse 1270 kilogrammes, la voie de coke 525 kilogrammes; comme une voie de houille produit 1 voie et demie de coke ou 787 kilogrammes, la quantité de combustible perdu dans la transformation d'une voie de houille en coke serait de 488 kilogrammes, et la différence des prix d'achat et de vente serait de 13 francs; alors en supposant que la chaleur développée par le combustible vaporisé, soit égale à celle qui serait produite par la combustion d'un même poids de houille, le bénéfice par voie de houille serait de 11 francs, et comme dans un four ordinaire il faut 3 jours pour distiller une voie de houille, le bénéfice par jour serait de moins de 4 francs, bénéfice plus que compensé par la continuité du chauffage et par la main-d'œuvre.

2071. *Chauffage d'une grande salle du collége Louis-le-Grand.* Cette pièce sert à réunir les élèves dans un grand nombre de circonstances. L'appareil de chauffage et de ventilation a été construit par

M. René Duvoir. Le calorifère représenté par les figures 3, 4, 5 et 6 a été décrit précédemment (1524).

Ce calorifère est placé dans une cave située au-dessous de la salle; l'air chaud s'écoule par un canal *aa'*, pratiqué au-dessous du sol, dont la section diminue progressivement, dont les parois sont formées de corps mauvais conducteurs, et qui est percé à sa partie supérieure de six larges orifices recouverts de plaques de fonte à jours, par lesquels l'air chaud débouche dans la pièce. Deux autres canaux parallèles *bb'*, *cc'*, disposés de la même manière et d'une section deux fois plus petite, prennent l'air de la pièce à la surface du sol, pour le ramener au calorifère, quand il s'agit seulement d'échauffer la salle, ou dans la cheminée d'appel chauffée par le tuyau à fumée du calorifère, quand la pièce est occupée. Le chauffage de cette pièce étant très-irrégulier, je n'ai pu me procurer aucun renseignement qui puisse conduire à une appréciation de l'effet utile du combustible consommé, ni de l'efficacité du système de ventilation adopté; je sais seulement que l'on est satisfait du chauffage et de la ventilation. Dans cet appareil rien n'a été disposé pour la ventilation d'été. Mais on l'effectuerait facilement en établissant un foyer dans la cheminée d'appel, en aspirant l'air à une hauteur supérieure aux places les plus élevées des personnes réunies, par un ou plusieurs orifices d'une section suffisante : l'air frais étant fourni par le canal central *aa'*.

2072. *Chauffage des églises.* Les églises sont malsaines par l'humidité qui y règne habituellement, et par l'absence d'une température convenable; rarement elles le sont par défaut de ventilation (1), parce que les nefs, en général très-élevées, renferment un volume d'air bien supérieur à celui qui est nécessaire, et qu'il y a presque toujours un renouvellement d'air assez considérable par les portes et les fissures des vitraux.

---

(1) Je dis rarement, mais non jamais; car, dans les grandes solennités, qui attirent un grand nombre de personnes, et durant lesquelles les lumières sont nombreuses, la ventilation naturelle peut être insuffisante. J'en citerai un exemple récent : lors de la cérémonie funèbre du duc d'Orléans, à l'église Notre-Dame, plus de 6000 personnes y étaient réunies; l'église était éclairée par une grande quantité de lumières; les fenêtres étaient fermées par des décors; et la ventilation n'avait lieu que par des doubles courants qui traversaient la grande porte d'entrée; aussi, en peu d'instants, la température y

L'humidité des églises est d'ailleurs une des causes les plus influentes de la détérioration des objets d'art qu'elles renferment. Ainsi, sous tous les rapports, il est important de chauffer et d'assainir les églises. En Angleterre, un grand nombre de chapelles sont chauffées. En France, une seule église, la Madeleine, est chauffée, et seulement depuis peu de temps. Avant de décrire les modes de chauffage et de ventilation qui ont été employés ou proposés, nous examinerons d'une manière générale les conditions à remplir et les dispositions qui paraissent les plus convenables.

2073. Les églises gothiques, à nefs élevées, sont toujours garnies de vitraux blancs ou colorés, dont les parties, réunies par des lames minces en plomb, laissent entre elles des intervalles nombreux, qui occasionnent une ventilation naturelle souvent très-puissante, quand les portes sont ouvertes. La première chose à examiner, c'est l'influence de ces orifices sur le chauffage. Lorsqu'une pièce, fermée de toute part, reçoit par la partie inférieure un courant d'air chaud, on sait que l'air chaud s'élève d'abord assez rapidement, mais avec une vitesse décroissante, à mesure qu'il se mêle avec l'air environnant; arrivé à la partie supérieure de la pièce, il s'étale en couche sensiblement horizontale, et si à la partie inférieure se trouvent des orifices communiquant au dehors, l'air descend progressivement en se refroidissant, et toujours par couches horizontales ayant dans toute leur étendue à peu près la même température. Mais indépendamment de ce mouvement général de la masse, il y a toujours contre les murs des courants descendants animés d'une vitesse d'autant plus grande que les murs sont à une plus basse température. Dans le cas que nous considérons, l'écoulement de l'air par les orifices pratiqués dans le sol est dû à l'excès de pression résultant du mouvement ascensionnel de l'air chaud avant et après son introduction; par conséquent, s'il existait des orifices à la partie supérieure de la pièce, ils don-

---

devint insupportable; les cierges qui environnaient le catafalque se courbaient de manière à faire craindre qu'ils ne missent le feu aux draperies, et dans le chœur, où la température était la plus élevée, plusieurs personnes ont perdu connaissance. On ne comprend pas comment cette conséquence inévitable d'un grand rassemblement et d'un si grand nombre d'appareils d'éclairage, n'avait pas été prévue par les architectes chargés de la décoration de l'église.

neraient issue à une quantité plus ou moins grande d'air chaud, et si leur étendue était assez grande, ils pourraient laisser échapper tout l'air chaud introduit. Mais, si l'air chaud arrivait dans la pièce par des orifices nombreux également répartis sur le sol dans l'axe du bâtiment, si parallèlement et contre les murs, on avait établi deux rangées d'orifices d'aspiration communiquant avec une cheminée d'appel, si le volume d'air appelé différait peu de celui qui est introduit, et si les mouvements de l'air s'effectuaient avec une faible vitesse, du moins à la partie supérieure, comme les orifices de communication avec l'extérieur sont très-petits, les mouvements de l'air à travers ces orifices seraient très-faibles; mais si le volume d'air appelé était beaucoup plus grand ou beaucoup plus petit que le volume d'air chaud introduit, il est évident que les orifices supérieurs laisseraient entrer de l'air froid ou laisseraient sortir de l'air chaud.

2074. Il résulte de ce qui précède, que pour les églises dans lesquelles les vitraux laissent peu de fissures, le mode de chauffage qui convient le mieux consiste dans une circulation d'air chaud, admis par des orifices pratiqués dans le sol et dans l'axe du bâtiment, et appelé par deux rangées d'orifices semblables, parallèles à la première, les volumes d'air introduits et appelés étant peu différents. S'il n'était pas nécessaire de produire de ventilation, on pourrait faire circuler le même air dans le calorifère; dans le cas contraire, il faudrait appeler l'air par une cheminée. En Angleterre un grand nombre de chapelles sont chauffées par la disposition que nous venons d'indiquer; dans plusieurs l'air est échauffé par des calorifères à eau chaude disposés comme dans la fig. 15 (pl. 92), et il n'y a point de ventilation. Mais il est plus avantageux de disposer les appareils de manière à pouvoir chauffer l'église sans ventilation quand elle ne contient que peu de monde, et avec ventilation quand elle est occupée par un grand nombre de personnes; d'ailleurs, la cheminée d'appel pourrait servir à la ventilation pendant l'été si un renouvellement d'air était reconnu nécessaire.

Si au-dessous de l'église, et dans toute sa longueur, se trouvait un caveau dans lequel on pût placer un canal isolé, destiné à conduire de l'air chaud dans les bouches, on pourrait chauffer l'air au moyen d'un calorifère quelconque. Les surfaces de chauffe pourraient être réunies autour du foyer ou formées de deux grands tuyaux qui parcour-

raient deux fois la longueur du canal à air chaud. Le canal qui conduirait l'air destiné au chauffage devrait parcourir le plus grand circuit souterrain avant d'arriver au calorifère. Les orifices d'aspiration communiqueraient avec deux grands canaux qui ramèneraient l'air en partie dans le calorifère, et en partie dans la cheminée du calorifère; cette cheminée devrait alors avoir une section suffisante pour produire l'écoulement de l'air, et renfermer un foyer d'appel particulier, qui servirait à régler la ventilation.

2075. Mais si les vitraux avaient des interstices très-nombreux ou très-grands, ce mode de chauffage occasionnerait une trop grande dépense; le seul qui conviendrait, consisterait à chauffer la partie du sol occupée par les bancs, ou les chaises, en établissant dans le sol de larges canaux dont la partie supérieure serait formée de grilles en fonte recouvertes de nattes, et par lesquelles on ferait écouler l'air chaud fourni par un calorifère, air qui s'échapperait ensuite par les interstices des nattes. Lorsque les siéges consistent dans des bancs fixes, il serait plus avantageux de les placer sur une caisse en bois peu élevée, dans laquelle arriverait l'air chaud, et d'où il s'écoulerait par de nombreux orifices uniformément distribués dans toute la surface supérieure de la caisse. Dans tous les cas, les canaux de conduite de l'air chaud devraient être formés de corps mauvais conducteurs, isolés; des plaques de fonte continues, libres, convenablement placées à la surface du sol autour du maître-autel et des chapelles particulières, seraient chauffées par le courant d'air chaud.

2076. L'église de la Madeleine est chauffée et ventilée par un calorifère à eau chaude construit par M. Léon Duvoir. Voici la disposition de l'appareil. La chaudière est placée à l'extrémité d'un grand caveau qui règne dans toute la longueur du bâtiment. Un canal rampant, d'une grande section, soutenu par des voûtes, communique avec des puits cylindriques, terminés par des orifices fermés par des plaques de fonte à jours et à fleur du sol de l'église. Des poêles en fonte, à double enveloppe, sont logés dans les espaces cylindriques dont nous venons de parler; le dernier sert de vase d'expansion. Les tuyaux d'ascension et de retour d'eau sont placés dans le canal rampant. Ce dernier est divisé en plusieurs parties égales; chacune contient un poêle, et reçoit un canal qui communique avec l'extérieur. Deux canaux, parallèles

à celui dans lequel s'effectue la circulation de l'eau, communiquent avec des bouches d'aspiration distribuées sur deux rangs près des murailles, et conduisent l'air refroidi dans le cendrier du foyer de la chaudière. La chaudière est disposée comme nous l'avons dit (2005). Le chauffage a lieu sous une pression limitée à deux atmosphères par une soupape. M. L. Duvoir s'est engagé à maintenir une température de 12°,5 dans l'intérieur de l'église, et 18° dans quelques pièces souterraines, moyennant une somme de 15 francs par jour de chauffage,y compris le salaire du chauffeur. Il a parfaitement rempli son engagement; la température est sensiblement uniforme dans toute l'étendue de l'église, et, dans les tribunes élevées, la température dépasse à peine d'un degré celle du niveau du sol. D'après M. Duvoir, la ventilation serait par heure de 4000 mètres cubes le jour, de moitié pendant la nuit, et pour 24 heures de 72000 mètres cubes; plusieurs expériences ont constaté que l'appareil pouvait produire cet effet. Mais il me paraît impossible qu'il le produise constamment, d'abord parce que l'appel par le foyer de chauffage ne peut pas être régulier, et ensuite parce que les frais d'appel réunis au salaire du chauffeur réduiraient à peu près à 5 fr. les frais de chauffage de l'édifice, compris le bénéfice de l'entrepreneur. Au reste, une si grande ventilation est rarement nécessaire le jour et toujours inutile la nuit. Le chauffage de l'air par une circulation continue autour des poêles et l'appel par une cheminée qui permette de régler la ventilation seraient bien préférables.

2077. *Maisons d'éducation.* Dans les maisons d'éducation, les pièces occupées, pendant un temps plus ou moins long, par les élèves, sont les dortoirs, les salles d'étude, les classes, les salles de récréation et le réfectoire.

Un appareil unique pour le chauffage et la ventilation de toutes les pièces de l'établissement serait bien préférable à cette multitude de poêles et de calorifères qu'on emploie partout, et sous le rapport de la régularité du chauffage et de la ventilation, et sous le rapport économique. Un calorifère à fumée ne convient pas, parce que les bâtiments étant souvent disséminés sur une très-grande étendue,la conduite de l'air chaud occasionnerait de trop grandes pertes de chaleur. Le chauffage ne devant pas être continu, un chauffage à vapeur avec quelques poêles à eau chaude serait le système le plus convenable. Des poêles produiraient le chauffage des pièces qui ne doivent pas être ventilées; et pour celles qui

auraient besoin d'un renouvellement d'air, on obtiendrait presque toujours une ventilation suffisante par une cheminée ouverte à la partie inférieure, en faisant arriver l'air extérieur entre un poêle et une double enveloppe ; ou en plaçant dans la cheminée un serpentin à vapeur ou à eau chaude, si un appel direct était nécessaire.

2078. Mais l'établissement d'un système général de chauffage à vapeur est très-coûteux, et il y a peu d'établissements d'instruction publique en état de faire cette dépense. Ainsi il est important d'examiner les moyens les plus simples et les plus économiques pour chauffer et ventiler séparément les différentes pièces dont se compose un collége.

2079. La méthode la plus simple pour chauffer les salles d'étude, consiste à employer un poêle en métal ou en terre cuite d'une forme quelconque, recouvert d'une enveloppe en tôle ouverte par le haut, placé dans la partie de la pièce opposée à celle où se trouve la cheminée ; l'intervalle du poêle et de la double enveloppe communique avec l'extérieur, et le tuyau du poêle traverse la salle pour se rendre dans le tuyau de la cheminée ; on garnit l'ouverture de la cheminée de registres mobiles pour faire varier la ventilation. Lorsque les salles d'étude sont petites, le poêle peut être placé près de la cheminée ; quand elles sont très-grandes, il vaut mieux employer les dispositions que nous indiquerons plus loin pour les écoles primaires et les salles d'asile.

2080. La même disposition pourrait être employée pour les classes ; mais comme les classes sont presque toujours pourvues de gradins, l'arrivée de l'air chaud et la sortie de l'air vicié seraient nécessairement d'un même côté et dans la partie la plus basse. Le poêle à double enveloppe pourrait être placé en avant de la chaire du professeur ; et il faudrait alors aspirer l'air par un certain nombre d'orifices situés à une hauteur de $0^m,40$ à $0^m,50$, qui le conduiraient dans la cheminée. On pourrait employer des caisses en bois, garnies de portes à coulisse, et disposées comme dans la figure 4 (pl. 119). L'air chaud en descendant par couches se refroidirait progressivement, et pour qu'il n'y eût pas une trop grande différence entre la température de la partie supérieure et de la partie inférieure des gradins, il faudrait que l'air chaud, en sortant du calorifère, n'eût pas une température trop élevée.

2081. Les salles de récréation fermées ont rarement besoin d'être chauf-

fées; mais s'il était nécessaire de les chauffer et de les ventiler, comme elles sont très-vastes, il faudrait employer les dispositions que nous indiquerons pour les écoles primaires.

2082. Partout les dortoirs sont insalubres, et par de trop petites dimensions, et par un trop grand nombre de lits. En effet, le séjour des enfants, dans les dortoirs, est au moins de 7 heures; par conséquent, quand il n'y a pas de ventilation, il devrait y avoir un lit pour 42 mètres cubes de capacité; alors en supposant que le dortoir ait 3 mètres de hauteur, un lit devrait correspondre à 14 mètres carrés de surface de plancher, et il est rare que, dans cet espace, il n'y en ait pas 3 ou 4. Souvent aussi les dortoirs sont beaucoup plus bas que nous ne l'avons supposé, et les lits sont presque en contact. Mais quels que soient les dimensions des dortoirs et le rapprochement des lits, on peut toujours les rendre parfaitement salubres par une ventilation convenable. Le chauffage et la ventilation pourraient se faire par un calorifère placé en dehors; mais il faudrait placer les orifices d'aspiration au niveau du sol. En employant des houilles sèches, qui permettent de n'alimenter les foyers qu'à des intervalles assez longs, le veilleur pourrait facilement surveiller le petit nombre de foyers nécessaires à des dortoirs, même très-vastes. Pour la ventilation d'été, il faudrait placer un très-petit foyer dans la cheminée d'appel, et aspirer l'air à une hauteur de $1^{m},50$ à 2 mètres. Mais la disposition la plus convenable pour les dortoirs consisterait à placer dans l'axe un certain nombre de poêles à eau chaude, chauffés par circulation et par un même foyer situé en dehors; chacun serait placé sur l'orifice d'un canal communiquant avec l'extérieur, et garni d'une enveloppe formant autour de lui un espace annulaire dans lequel l'air s'élèverait en s'échauffant; quelques petites cheminées en bois, appliquées contre les murs et s'ouvrant à une petite distance du sol, feraient écouler l'air comprimé par le mouvement de l'air chaud. Le chauffage de l'eau pourrait avoir lieu le soir, et la ventilation s'effectuerait par le refroidissement de l'eau. Pour la ventilation d'été, on fermerait les orifices inférieurs des cheminées, et on ouvrirait d'autres orifices percés sur leurs faces latérales à $1^{m},50$ de hauteur. Pour un dortoir contenant 40 lits, deux ou trois poêles renfermant ensemble 300 litres d'eau suffiraient; la somme des sections des tuyaux d'appel et des cheminées devrait être de $0^{m},40$.

Les poêles pourraient être chauffés par des foyers intérieurs; dans ce cas, il faudrait utiliser la chaleur de la fumée pour favoriser l'appel. On pourrait aussi employer des vases à eau chaude montés sur des roulettes, qu'il serait facile de transporter, ou pour les remplir d'eau chaude, ou pour chauffer de différentes manières l'eau qu'ils renferment. Quand les dispositions, dont nous venons de parler, ne pourraient pas être exécutées, soit à cause des circonstances locales, soit à cause des dépenses qu'elles exigeraient, on obtiendrait toujours une ventilation suffisante, en plaçant dans une cheminée ouverte par le bas, un petit poêle alimenté par un combustible brûlant lentement, tel que la houille sèche, des briquettes de houille, des mottes ou de la tourbe; une disposition convenable du foyer et du combustible dispenserait d'alimenter le foyer pendant la nuit. On pourrait aussi produire la ventilation d'hiver et d'été par les lampes, en plaçant au-dessus de chacune, un tuyau de zinc de $0^{m},05$ de section, et qui s'élèverait en dehors de 2 ou 3^{m}; une lampe brûlant $0^{k},040$ d'huile à l'heure suffirait pour 10 lits, et la ventilation de la nuit pour chacun coûterait moins de $0^{f},03$. Ces dernières dispositions, qui sont applicables partout, seraient très-importantes à introduire dans un grand nombre de maisons d'éducation, où les dortoirs, par leur peu de hauteur et par le rapprochement des lits, renferment le matin de l'air tellement vicié, qu'il est impossible que la santé des enfants n'en soit pas altérée.

2083. Les fourneaux de cuisine sont rarement bien disposés. Quand ils sont construits à l'ancienne méthode, avec des fourneaux chauffés au charbon de bois, ils peuvent donner lieu à des accidents graves, quoique placés sous une hotte qui communique avec la cheminée; parce que la combustion du charbon produit toujours de l'oxyde de carbone, dont l'action sur l'économie animale, même en très-petite quantité, est très-énergique (1352), et qu'il se produit toujours dans la cheminée un double courant qui ramène dans la cuisine une partie des gaz provenant de la combustion. Des fourneaux disposés comme nous l'avons dit (1731), chauffés à la houille, dans lesquels il y a toujours un appel très-puissant de dehors en dedans, et dont la chaleur perdue est employée à chauffer l'eau nécessaire aux différents services et les étuves destinées à maintenir les plats chauds, sont à la fois très-salubres et très-économiques.

2084. Dans toutes les grandes maisons d'éducation, les lieux d'aisances sont dans l'état le plus barbare, et sont une cause permanente d'insalubrité. Deux circonstances concourent à répandre une mauvaise odeur, le défaut de ventilation des fosses et la malpropreté des cabinets.

Les fosses ayant toujours une très-grande capacité, les variations de température occasionnent souvent des doubles courants, qui répandent dans le voisinage de l'air imprégné des gaz et des vapeurs produites dans les fosses, et, par l'abaissement du baromètre, l'accroissement de volume de l'air des fosses produit le même effet. Mais il serait très-facile d'éviter ces mouvements de l'air de l'intérieur à l'extérieur des fosses, en les faisant communiquer avec une cheminée d'appel; la quantité de combustible qu'il faudrait consommer par jour serait très-peu considérable, parce qu'il suffirait d'établir, dans tous les orifices communiquant avec la fosse, un mouvement de haut en bas bien prononcé. Le plus souvent, un lampion alimenté par de mauvaises graisses suffirait; car, en supposant seulement une combustion de 100 grammes de graisse par heure, la quantité de chaleur développée serait de près de 800 unités, qui, en supposant l'air échauffé de 20°, appellerait 120 mètres cubes d'air par heure, appel qui suffirait dans le plus grand nombre de cas. Mais il serait préférable d'établir dans la cheminée un petit foyer à combustion lente, dans lequel on brûlerait de 1 à 2 kilogr. de tourbe ou de tan par heure. Si la cheminée avait une section suffisante ainsi que le canal de communication avec la fosse, l'appel pourrait dépasser 1,200 mètres cubes par heure; il serait suffisant dans tous les cas, et n'occasionnerait qu'une dépense insignifiante. On a proposé de faire servir la chaleur perdue dans la cheminée de la cuisine, à l'appel de la fosse, en y plaçant un tuyau de poêle qui s'élève au-dessus du sommet de la cheminée; mais le tuyau n'ayant qu'un petit diamètre, et la chaleur qu'il recevrait étant très-variable et souvent peu considérable, on pourrait craindre que l'appel fût trop faible: ce serait, à mon avis, une économie mal entendue.

2085. Quant aux cabinets, la disposition la plus généralement employée consiste à recouvrir le sol d'une plaque de plomb ou de zinc, légèrement inclinée vers un orifice central qui communique à la fosse, et sur laquelle se trouvent fixées deux plaques épaisses, sur lesquelles on pose les pieds. Lorsque les murs, jusqu'à une certaine hauteur, sont éga-

lement recouverts de plaques métalliques, que les cabinets sont surveillés et lavés de temps en temps, ils ne donnent point d'odeur; mais ces conditions sont indispensables, parce que l'appel de la cheminée, même quand il produit une vitesse très-grande de l'air dans l'orifice, n'en produit qu'une très-petite autour, et qui décroît très-rapidement avec la distance. Mais, à mon avis, des siéges à l'anglaise, construits même avec luxe, seraient bien préférables; car, au moyen d'une bonne surveillance et d'une amende légère au profit du surveillant, on parviendrait facilement à établir dans les cabinets la même propreté que dans les maisons particulières; à la vérité, ce système exigerait un peu de dépense pour les eaux de lavage, et un accroissement de frais de vidange; mais ces dépenses seraient peu considérables, car il serait facile de limiter la consommation d'eau. A côté des cabinets devraient aussi se trouver des urinoirs, qui seraient lavés d'une manière continue ou seulement de temps en temps.

2086. *Écoles primaires, salles d'asile.* Les écoles primaires et les salles d'asile sont quelquefois insalubres par l'humidité du sol, ou par les mauvaises dispositions des latrines; mais elles le sont surtout, et presque partout, par le défaut de ventilation, d'autant plus que les salles contiennent presque toujours tous les élèves qu'elles peuvent renfermer, et qu'elles n'ont jamais une grande hauteur. A la vérité, on peut renouveler l'air des salles le matin et entre les classes, et pendant une partie de l'année on peut ouvrir les fenêtres pendant les classes; mais le renouvellement périodique de l'air, en supposant qu'il ait lieu complétement, n'est pas suffisant; et il est peu de jours de l'année, pendant lesquels on puisse maintenir les fenêtres ouvertes, à cause de mille circonstances, telles que le bruit extérieur, la pluie, le vent et le refroidissement. Aussi dans toutes les saisons, le plus souvent après moins d'une heure de séjour des enfants, les salles d'école et les salles d'asile ont contracté une odeur insupportable. La santé des enfants et celle des maîtres doit nécessairement souffrir d'un séjour prolongé, et qui se renouvelle si souvent, dans un air rendu fétide par la respiration et la malpropreté des enfants.

L'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile, par un renouvellement convenable de l'air, est donc une chose d'une extrême importance, et qui doit appeler toute la sollicitude des personnes qui, à

différents titres, participent ou à la direction ou à la surveillance de ces établissements.

2087. En 1842, d'après l'ordre de M. le ministre de l'instruction publique, j'ai rédigé une instruction sur le chauffage et l'assainissement des écoles primaires et des salles d'asile. Cette instruction a été imprimée aux frais de l'État, et distribuée aux personnes qui, par leur position, pouvaient concourir à l'amélioration du système actuel. Je résumerai en peu de mots les principes et les détails renfermés dans cette instruction.

Indépendamment des conditions relatives au chauffage et à la ventilation, l'appareil doit satisfaire à plusieurs autres conditions qui déterminent sa nature. Il faut que l'appareil soit d'une extrême simplicité, facile à réparer, à l'abri de tout accident; qu'il utilise la chaleur le mieux possible; qu'il soit placé dans la pièce elle-même, parce que le maître doit le diriger. On ne peut satisfaire à ces conditions qu'en employant un calorifère dans lequel l'air soit chauffé sans autre intermédiaire que des plaques métalliques.

2088. La planche 119 représente l'ensemble des dispositions les plus simples et les plus convenables pour les établissements dont il s'agit. La figure 1re représente une coupe longitudinale d'un bâtiment renfermant une salle d'école au rez-de-chaussée et une autre au premier étage; la figure 2, le plan d'une des salles; la figure 3, une coupe verticale par le milieu des poêles; la figure 4, une coupe verticale dans laquelle on voit une projection de la cheminée d'appel. A, estrade du maître; B, B, bancs des élèves; C, C, calorifères chauffant de l'air appelé de l'extérieur; D, D, tuyaux à fumée qui parcourent la salle dans toute sa longueur, et se rendent dans la cheminée d'appel; E, cheminée d'appel; F, F, orifices d'accès de l'air appelé par la cheminée; G, G, tuyaux communiquant avec l'extérieur et avec l'intervalle compris entre chaque poêle et son enveloppe. L'air chauffé se répand d'abord à la partie supérieure de la salle, et descend par couches horizontales de même température, jusqu'au niveau des orifices d'appel, et, par conséquent, la température est sensiblement uniforme dans toute la salle à la même hauteur. Les calorifères doivent être placés près de l'estrade, parce qu'ils doivent être surveillés par le maître; les tuyaux doivent traverser la salle pour y répartir uniformément la chaleur.

2089. Pour les salles d'asile, il serait nécessaire de chauffer et de ventiler la salle et le préau. Dans la salle, le calorifère devrait être placé à l'extrémité opposée aux gradins occupés par les enfants, et il faudrait faire sortir l'air par des orifices très-nombreux percés dans les contre-marches des gradins, dont la somme totale des surfaces fût quatre ou cinq fois plus grande que celle de la cheminée d'appel, afin que la vitesse de l'air y fût insensible; ou seulement par 4 ou 5 orifices percés près du sol sur les faces latérales du système des gradins.

2090. Lorsqu'il n'y a qu'un seul calorifère, il doit être placé au milieu de la salle. Quand il y en a deux, ils doivent être disposés de manière que la distance qui les sépare soit double de leur distance aux murs latéraux. Pour les salles dont la longueur dépasse 30 mètres, et qui sont destinées à renfermer plus de 300 enfants, si on plaçait les calorifères à une extrémité, la fumée arriverait trop refroidie dans la cheminée d'appel, et le renouvellement de l'air pourrait être insuffisant; dans ce cas, il serait plus convenable de placer les calorifères au milieu de la salle, et de garnir chacun d'eux de deux tuyaux, dont chacun se rendrait à une cheminée d'appel placée à chaque extrémité; des registres permettraient de répartir également la fumée dans chacun des tuyaux. On pourrait aussi effectuer séparément le chauffage et la ventilation par des appareils distincts. Les calorifères, placés à une extrémité de la salle, auraient des tuyaux à fumée qui, après avoir parcouru une partie de la salle, reviendraient sur eux-mêmes pour gagner une cheminée commune, et à l'autre extrémité de la salle, on placerait un petit poêle sans enveloppe, dont le tuyau se rendrait directement dans la cheminée d'appel.

2091. Les calorifères sont disposés comme l'indiquent les figures 1, 2, 3, 4 et 5 (pl. 75); mais on pourrait employer les poêles déjà existants en les entourant d'une chemise en tôle, garnie de deux portes, l'une en face de celle du foyer du poêle, l'autre du côté opposé, pour chauffer l'air de la pièce, sans ventilation, avant l'heure des classes; mais il faudrait une communication avec l'extérieur, et un registre destiné à intercepter, à volonté, cette communication.

Pour des salles destinées à renfermer 150 élèves, on peut donner aux tuyaux à fumée de $0^{m},12$ à $0^{m},15$ de diamètre; pour des salles plus grandes, il serait convenable de les porter de $0^{m},16$ à $0^{m},18$. Ces dia-

mètres suffisent pour le tirage; de plus grands auraient l'inconvénient de refroidir trop la fumée et de diminuer l'effet des cheminées d'appel. Les diamètres des tuyaux croissent peu avec le nombre des élèves : 1° parce qu'au delà de 50 élèves, nous supposons qu'on emploie 2 calorifères; 2° parce qu'en réalité, la dépense de combustible augmente peu avec le nombre des élèves. Ce fait résulte de ce que la surface des vitres et des murailles, par lesquelles se perd une grande partie de la chaleur, n'augmente pas proportionnellement au nombre des élèves, et de ce que la chaleur produite par l'acte de la respiration, dépasse la quantité de chaleur nécessaire à la ventilation.

2092. Il est de la plus grande importance que les orifices extérieurs des tuyaux d'appel de l'air extérieur soient placés dans un lieu découvert, loin des latrines, et à l'abri de toutes les influences qui pourraient vicier l'air. Il faut surtout éviter de faire les prises d'air dans les pièces où les enfants déposent leurs paniers, parce que l'air n'y est jamais bien pur. Les tuyaux peuvent être placés au-dessous du sol, dans l'intervalle des planchers ou dans les embrasures des fenêtres; ils peuvent être en maçonnerie ou en bois, d'une forme quelconque. Leur section doit être à peu près de 6, 10, 14, 19, 23 et 27 décimètres carrés pour des salles renfermant 50, 100, 150, 200, 250 et 300 enfants; ces sections suffisent lorsque la longueur des canaux n'excède pas 8 à 10 mètres; pour des longueurs plus considérables, il faudrait les augmenter; mais il n'y a aucun inconvénient à donner aux tuyaux d'appel des sections beaucoup plus grandes.

2093. La cheminée d'appel peut être construite en maçonnerie ou en tôle. Sa section doit peu différer de celle des tuyaux d'appel. Si on lui donnait une section plus grande, la vitesse d'écoulement serait trop petite, et il deviendrait difficile de s'opposer à l'action des vents sur l'orifice supérieur. Ainsi il est prudent de ne pas augmenter beaucoup la section indiquée. Cependant si on voulait utiliser, pour la ventilation, une cheminée déjà construite, dont la section serait beaucoup trop grande, on pourrait le faire, pourvu qu'on rétrécît convenablement l'orifice supérieur. La cheminée doit s'élever au-dessus des toits, et se terminer par un chapeau en tôle, destiné à éviter le refoulement du mélange d'air et de fumée par l'action des vents. Si le bâtiment était dominé par des édifices très-élevés, les remous, produits par les

vents violents, pourraient faire refouler l'air de la cheminée dans la pièce; alors il vaudrait mieux prolonger le tuyau à fumée dans toute la longueur de la cheminée et de quelques mètres au-dessus de son sommet, et protéger la cheminée ainsi que le tuyau par un chapeau, comme l'indiquent les fig. 5 et 6 (pl. 57).

2094. La cheminée doit communiquer par sa partie inférieure avec plusieurs orifices placés à $0^m,80$ du sol, dont la somme des surfaces soit au moins égale à la section de la cheminée, mais que l'on puisse fermer plus ou moins par des portes à coulisses ou des plaques tournantes, fig. 4 (pl. 119).

2095. Dans les circonstances ordinaires des écoles, et pour Paris et le nord de la France, la consommation de la houille, dans les jours les plus froids de l'hiver, n'excédera pas 2, 3, 4, 5, 6 et 7 kilogrammes par heure, pour des salles renfermant 50, 100, 150, 200, 250 et 300 élèves.

2096. Le chauffage doit être conduit de la manière suivante. Une heure avant l'entrée des élèves, on allume les foyers des calorifères, après avoir fermé les orifices par lesquels arrive l'air extérieur et ceux qui se trouvent au bas de la cheminée d'appel, en laissant ouverte la porte par laquelle l'air de la pièce peut pénétrer dans l'intérieur des enveloppes : le chauffage a lieu par la circulation de l'air de la pièce; et quelques instants après l'arrivée des élèves, on établit la ventilation.

2097. La ventilation d'été peut être obtenue sans rien changer aux appareils; il suffit de placer un petit poêle au bas de la cheminée d'appel, de fermer les orifices inférieurs, et d'ouvrir une porte pratiquée dans la cheminée d'appel à une hauteur de 2 mètres et au-dessous de l'extrémité de la cheminée du poêle. Ce changement dans la position de l'entrée de l'air dans la cheminée, résulte de ce qu'en été, l'air d'appel est plus froid que l'air de la salle et qu'il tend à rester sur le sol.

2098. Pour une école de 250 à 300 élèves, les frais d'établissement des appareils peuvent s'élever à 750 francs.

2099. Les dispositions que nous venons d'indiquer ont été établies, à Paris, dans trois grandes écoles, situées l'une rue Neuve-Coquenard, les autres à la Halle aux Draps. Dans toutes on a été très-satisfait des effets obtenus, sous le rapport du chauffage, de son uniformité, et de l'économie du combustible, malgré la dépense de chaleur qu'exige la ventilation, parce que dans ces appareils la chaleur est mieux utilisée

que dans les anciens. A l'école de la rue Neuve-Coquenard, la seule dans laquelle j'aie fait des expériences, il n'y a pas un degré de différence entre les températures des extrémités de la salle, et la ventilation, qui est ordinairement de 6 mètres cubes par élève, est suffisante pour empêcher toute odeur désagréable.

2100. *Hôpitaux.* De tous les établissements publics, les hôpitaux sont ceux dans lesquels il est le plus important d'établir de bons systèmes de chauffage et de ventilation, et cependant jusqu'ici on s'est fort peu occupé de cette question. A l'exception de l'hôpital d'Alais, je ne connais aucun établissement de ce genre dans lequel l'air des salles soit renouvelé régulièrement. On se contente de donner aux salles une grande hauteur et d'ouvrir de temps en temps les fenêtres. Mais ces précautions sont insuffisantes, car, dans l'état de santé, il faut plus de 150 mètres cubes d'air à un individu par jour, et la ventilation des hôpitaux doit être beaucoup plus grande, à cause de mille circonstances, et surtout des vases d'aisances placés à côté de chaque lit. Quand on réfléchit à l'influence que doit avoir sur les malades de l'air stagnant, vicié par la respiration, la transpiration, les émanations de toutes espèces, et les déjections de tous les malades d'une salle, il est impossible de douter que les maladies spéciales aux hôpitaux, les caractères qu'y prennent certaines affections, et la lenteur de la guérison d'un grand nombre, ne proviennent de l'absence d'un système régulier de ventilation. On a de la peine à comprendre qu'un état de choses si funeste à la santé des malades ait duré si longtemps et éveille si peu la sollicitude des médecins et des administrateurs. L'assainissement des hôpitaux par un bon système de ventilation est donc une chose d'une importance extrême, et sur laquelle nous appelons toute l'attention des personnes qui dirigent ces importants établissements.

2101. J'établirai d'abord quelques principes généraux sur le mode de chauffage et de ventilation qui me paraît le plus convenable, et j'entrerai ensuite dans quelques détails d'exécution.

1° La ventilation doit être continue, le jour et la nuit, dans toutes les saisons. Elle doit toujours être suffisante pour que l'on ne trouve pas de différence, à en juger par l'impression faite sur nos organes, entre l'air extérieur et celui des salles.

2° La ventilation doit être établie, au moins à raison de 10 à 15 mè-

tres cubes d'air par lit et par heure; mais les appareils doivent être disposés de manière à ce que l'on puisse doubler au besoin ce volume.

3° La chaleur transmise par les vitres et les murailles doit être fournie par le rayonnement de poêles à fumée, à vapeur ou à eau chaude, placés dans les salles et servant en même temps aux usages ordinaires, parce que la chaleur nécessaire à la ventilation étant très-petite relativement à celle que transmettent les vitres et les murailles, le chauffage par l'air de ventilation exigerait que cet air entrât dans la pièce à une température trop élevée.

4° La sortie de l'air doit être produite par des cheminées d'appel, parce que les ventilateurs mus par des hommes ne présenteraient aucun avantage, et ne produiraient pas des effets aussi réguliers et aussi certains. Les foyers d'appel doivent être distincts des foyers de chauffage.

5° Les foyers d'appel doivent être réduits au plus petit nombre possible. Chacun d'eux doit être à flamme renversée, sans grille, alimenté par de la houille ou du coke, disposé de manière que l'activité de la combustion puisse être réglée au moyen d'un registre placé dans le canal qui amène l'air sur le combustible, et que l'air chaud débouche au centre de la cheminée d'appel au-dessous d'un chapeau en maçonnerie qui le disperse dans la cheminée. Le chauffage des cheminées d'appel par des serpentins parcourus par la vapeur ou par de l'eau chaude, ou par des poêles à eau chaude, ne présenterait aucun avantage sur un foyer bien disposé, augmenterait de beaucoup les frais d'établissement, et occasionnerait une grande perte de chaleur, tandis que l'appel par un foyer utilise toute la chaleur produite par la combustion.

Le mouvement de l'air dans les salles peut s'effectuer de différentes manières. On peut faire arriver l'air à la surface du sol, par un grand nombre d'orifices placés sous les lits, et le faire sortir par des ouvertures pratiquées dans le plafond; une partie seulement de l'air traverserait les chaises percées et s'écoulerait par des tuyaux particuliers; alors les cheminées d'appel partiraient des combles. On peut aussi faire arriver l'air chaud par un petit nombre d'orifices pratiqués dans le plancher et le faire sortir en totalité par les chaises percées; pour l'été, il faudrait placer les orifices d'appel à une hauteur de 2 mètres, et faire toujours passer l'air dans les chaises percées; alors il serait convenable de conduire l'air dans une seule cheminée d'appel établie au niveau du sol. Ce

dernier mode de circulation de l'air dans les salles serait préférable au premier, 1° parce que la totalité de l'air de ventilation traverserait les chaises percées; 2° parce que l'appel pourrait se faire par une seule cheminée d'une grande hauteur et d'une grande section, qui permettrait de produire la ventilation avec moins de dépense de combustible que par des cheminées partant des combles, malgré l'accroissement de longueur du canal; 3° parce que le foyer d'appel, pouvant être placé à côté du foyer de chauffage, il pourrait être facilement dirigé par le même chauffeur; 4° parce qu'il serait facile de placer, dans le canal qui amène l'air à la cheminée, un petit appareil qui s'inclinerait plus ou moins sous l'influence du courant d'air, et qui ferait mouvoir une aiguille indiquant à chaque instant la vitesse du courant; cet appareil servirait à la fois de guide au chauffeur pour régler la ventilation et de contrôle permanent à l'administration.

6° Le chauffage devant être continu, les appareils à eau chaude sont préférables aux autres, mais pour les grands établissements, la transmission de la chaleur par la vapeur est préférable au chauffage direct de l'eau par une circulation générale (2020).

2102. La planche 120 représente une disposition de chauffage et de ventilation, appliquée à un bâtiment renfermant 3 étages, et 16 lits à chaque étage. La fig. 1re est une coupe longitudinale du bâtiment; la fig. 2, le plan d'un étage; les fig. 3 et 4, deux coupes transversales; les fig. 5 et 6, une élévation et une coupe transversale d'un poêle à eau chaude; et la fig. 7 est une coupe verticale de la cheminée d'appel et du vase d'expansion placé à côté. A, chaudière à eau chaude; B, B, B, tuyaux d'ascension de l'eau chaude. C, vase d'expansion. D, D, D, D, poêles à eau chaude parcourus successivement par l'eau chaude. E, serpentin à eau chaude renfermé dans une enveloppe cylindrique où l'air de ventilation est échauffé. F, canaux qui conduisent l'air à chaque étage : ces canaux sont placés symétriquement de chaque côté du bâtiment; leur section décroît successivement d'un tiers à chaque étage. G, G, tuyaux horizontaux placés sur les planchers et contre les murs, qui distribuent l'air chaud dans les petits canaux *g*, *g* qui se prolongent sous les lits, et d'où l'air s'écoule dans les pièces par un grand nombre d'ouvertures. H, H, tuyaux d'aspiration placés dans l'angle des plafonds et des murailles latérales, et qui conduisent l'air dans la cheminée d'appel. I, cheminée d'appel alimentée par

un foyer spécial. On pourrait produire l'appel par un serpentin dans lequel circulerait de l'eau chaude, mais cette disposition aurait l'inconvénient de faire varier la ventilation avec le chauffage, à moins qu'on n'établît un tuyau de retour d'eau direct du serpentin à la chaudière, et même cette disposition aurait, pour la ventilation d'été, l'inconvénient d'employer un appareil de chauffage beaucoup trop grand. Les dimensions des différentes parties de l'appareil de chauffage se détermineraient facilement d'après ce que nous avons dit précédemment. La surface du serpentin destiné au chauffage de l'air extérieur se calculerait d'après le volume d'air qui doit être appelé; en supposant que le maximum d'échauffement soit de 30°, et que chaque mètre carré de surface émette de 800 à 900 unités de chaleur par heure.

Mais sous tous les rapports, un mouvement en sens contraire de l'air dans les salles, et une cheminée d'appel chauffée par un foyer placé à côté de la chaudière, seraient de beaucoup préférables à la disposition que nous venons de décrire.

Comme les dispositions générales de chauffage et de ventilation dont nous avons parlé exigeraient des frais d'établissement assez considérables, nous en indiquerons d'autres d'une exécution facile, et qui n'occasionneraient que fort peu de dépenses.

2103. On pourrait d'abord employer des poêles quelconques, en tôle, en fonte ou en terre cuite, dont les surfaces de chauffe, y compris les tuyaux à fumée, auraient une étendue suffisante; ces poêles seraient pourvus de tuyaux intérieurs ou d'une double enveloppe pour chauffer l'air, appelé du dehors par des cheminées placées de distance en distance; chaque cheminée renfermerait un petit poêle intérieur dont la fumée pourrait se dégager au moyen de registres, à 1 mètre ou à 3 mètres de hauteur; elle communiquerait avec deux systèmes d'orifices horizontaux placés les uns près du sol, qui serviraient l'hiver, les autres à 2 mètres de hauteur pour la ventilation d'été. Les tuyaux de conduite de l'air extérieur resteraient ouverts dans toutes les saisons. Chaque table de nuit devrait être fermée par une porte percée de trous et garnie latéralement d'un tuyau de 5 à 6 centimètres de côté, aboutissant au canal d'appel le plus voisin. On pourrait faire déboucher les tuyaux à fumée des poêles dans les cheminées d'appel; mais il ne faudrait pas compter sur la chaleur de la fumée pour produire l'appel, attendu que le

chauffage est variable et que l'appel doit être constant. On pourrait se servir des poêles qui existent, en les modifiant convenablement. En supposant 2 mètres d'intervalle entre les lits, des salles de 4 mètres de hauteur, des fenêtres occupant le quart de la surface totale des faces latérales, et des murailles de $0^m,40$ d'épaisseur, une ventilation de 20 mètres cubes d'air par lit, et un échauffement de l'air de 40° dans les cheminées d'appel, il faudrait $0^m,25$ à $0^m,30$ de surface de chauffe des poêles par lit, 0^m01 de section de tuyau d'entrée et de sortie; la consommation de combustible, par jour et par lit, serait au maximum de 5 kilogrammes de houille, en moyenne, de 2^k5, et pour les six mois d'hiver de 450 kilogrammes; et la consommation de combustible pendant l'année, pour le chauffage des cheminées d'appel, ne dépasserait pas ce dernier chiffre. Pour le bois, la consommation serait à peu près double. Ces nombres supposent cependant que tous les appareils seront dirigés avec intelligence; car, par exemple, rien ne serait plus facile que de décupler la quantité de combustible brûlé dans la cheminée d'appel, en doublant à peine l'effet produit.

2104. Dans les hôpitaux où l'on ne pourrait pas même faire la dépense de nouveaux poêles ou les modifications indiquées dans ceux qui existent, on obtiendrait encore une très-grande amélioration, en établissant dans les salles de grandes cheminées à larges ouvertures, dans lesquelles, pendant l'hiver, on brûlerait un combustible quelconque dans un foyer découvert, comme dans les cheminées domestiques, et dans lesquelles on placerait un poêle pendant l'été. L'air extérieur pénétrerait par les fissures des portes et des fenêtres et par quelques ouvertures pratiquées dans les fenêtres; la ventilation aurait lieu par de l'air froid, et le renouvellement de l'air ne s'effectuerait pas d'une manière aussi uniforme que dans les dispositions que nous avons indiquées; mais il en résulterait pourtant encore un très-grand avantage.

2105. Les nouveaux bâtiments de l'hospice des aliénés de Charenton renferment un système complet de chauffage et de ventilation à l'eau chaude construit par M. L. Duvoir. Ces bâtiments consistent en cellules de 40 mètres cubes de capacité, placées au rez-de-chaussée, s'ouvrant d'un côté sur des galeries ouvertes, et de l'autre sur un couloir fermé. Un caniveau pratiqué dans le sol des couloirs fermés contient des tuyaux d'eau chaude et reçoit de l'air extérieur qui s'écoule ensuite dans les cellules

par des canaux pratiqués dans l'épaisseur des murs et qui débouchent à 2 mètres de hauteur; l'air sort des cellules par des orifices percés dans le plancher, et se rend dans un vaste canal situé au-dessous, qui le conduit dans le cendrier du fourneau. Des chauffoirs communs sont chauffés par des poêles à eau chaude.

Le mode de chauffage des cellules est convenable quand la ventilation est très-grande; mais on retrouve encore ici cet appel par le cendrier, qui, ainsi que nous l'avons déjà dit plusieurs fois, ne peut pas produire une ventilation régulière. Cependant, si toutes les dimensions de l'appareil sont convenables, en établissant un foyer spécial au bas de la cheminée, et un indicateur de la vitesse du courant qui serve de guide au chauffeur pour diriger le foyer d'appel, l'appareil pourra produire, sous le rapport du chauffage et de la ventilation, l'effet qu'on en attend.

2106. *Prisons.* Dans les grandes maisons de détention où les prisonniers travaillent dans des pièces communes, ces pièces doivent être chauffées parce qu'une certaine température est nécessaire au travail. Quant à la ventilation des ateliers, au chauffage et à la ventilation des autres pièces communes, les opinions sont partagées, surtout par la considération que les prisonniers se trouveraient dans des conditions plus favorables que les ouvriers dans la plupart des grands ateliers. Je ne discuterai point la question, mais j'insisterai fortement sur l'assainissement des ateliers insalubres par la nature des travaux qui s'y exécutent, parce que pour ces ateliers la nécessité de l'assainissement ne peut pas être contestée. Le chauffage et l'assainissement des ateliers insalubres, qui exigent une très-puissante ventilation, ne pourraient pas être produits par une disposition analogue à celle que nous avons indiquée pour les écoles primaires, parce que l'appel serait insuffisant ou qu'il exigerait une trop grande quantité de combustible. Le meilleur mode de chauffage consiste dans des poêles métalliques, à circulation assez étendue pour que la fumée soit abandonnée à une température peu supérieure à celle de l'atelier; et le moyen de ventilation le plus convenable consiste dans l'usage d'un ventilateur à force centrifuge, parce que dans les prisons le travail ne coûte rien, et que les prisonniers exécuteraient volontiers une opération qui est dans l'intérêt de leur santé.

2107. Le régime cellulaire exige nécessairement un chauffage constant et une ventilation régulière. La disposition qui me paraît la plus conve-

nable consiste à chauffer les cellules par l'air de ventilation, chauffé lui-même dans un canal placé près des cellules et renfermant des tuyaux à eau chaude ou à vapeur, et en même temps par une circulation de l'air des cellules autour d'une partie limitée des tuyaux; l'air doit sortir de chaque cellule en traversant la chaise percée, et se rendre par un tuyau pratiqué dans l'épaisseur des murailles, dans un canal creusé dans le sol et de là dans une cheminée d'appel placée à côté des fourneaux destinés au chauffage. Une température de 15°, maintenue pendant 10 heures, et une ventilation de 10 mètres cubes par cellule et par heure dans le jour et de moitié pendant la nuit paraissent convenables. Le canal qui amène l'air à la cheminée d'appel doit être pourvu d'un indicateur de la vitesse réglé au moyen de l'anémomètre (2101).

§ 7. — CHAUFFAGE DES ATELIERS.

2108. Les grands ateliers dans lesquels les hommes ne sont pas constamment en mouvement et dont les travaux n'exigent pas de grands efforts, tels que les filatures, les fabriques de toiles peintes et de tissus, ont besoin d'être chauffés en hiver, parce qu'une certaine température supérieure à 10° est indispensable au travail. Partout les ateliers sont chauffés, mais avec une trop grande parcimonie, car la température y est seulement assez élevée pour que les ouvriers puissent travailler, mais rarement au point convenable à leur bien-être. En outre, les ateliers ordinaires ne sont jamais ventilés; à la vérité, il y a des ateliers dans lesquels les ouvriers sont tellement espacés, que le volume d'air qu'ils renferment, joint à une faible ventilation naturelle par les portes et les fenêtres, suffit pour la durée du travail; mais dans le plus grand nombre, une ventilation permanente, ou du moins un renouvellement périodique de l'air, serait indispensable.

2109. Le mode de chauffage le plus en usage dans les grands ateliers est le chauffage à vapeur, et c'est celui qui convient le mieux, pour chauffer avec un seul foyer des ateliers renfermés dans des bâtiments différents même assez éloignés, et seulement pendant les heures de travail. J'ai donné dans cet ouvrage tous les détails de construction des appareils, ainsi que la manière de déterminer l'étendue des surfaces de

chauffe, je me bornerai ici à indiquer la disposition la plus généralement employée.

2110. La planche 121 représente un atelier à quatre étages chauffé par la vapeur. La figure 1re est une coupe verticale dans le sens de la longueur du bâtiment; la figure 2, le plan d'un étage; la figure 3, une coupe verticale perpendiculaire à la longueur; la figure 4, une coupe transversale de la chambre qui renferme la chaudière. A, chaudière; B, vase dans lequel se réunissent les eaux de condensation et d'où elles sont ensuite introduites périodiquement dans la chaudière; C, cheminées; D, D, D, D, tuyaux de chauffage; E, souffleurs; F, tuyaux de retour d'eau. Dans tout le circuit il n'y a aucun compensateur, parce que les tuyaux peuvent se dilater librement; mais comme l'allongement du tuyau de distribution soulève les tuyaux de condensation, et que ce mouvement pourrait occasionner, sinon des ruptures, au moins des fuites dans les joints, je pense qu'il serait plus convenable d'établir la communication au moyen d'un tuyau en cuivre d'un petit diamètre, plié sous la forme d'un S, qui se prêterait facilement à tous les mouvements qui proviennent de la dilatation des tuyaux.

2111. Les ingénieurs admettent que pour des ateliers ayant 8 mètres de largeur, 3 mètres de hauteur, dont les vitres occupent $\frac{1}{6}$ de la surface totale, un tuyau de fonte de $0^m,40$ de circonférence, et qui parcourt une seule fois toute la longueur, suffit pour maintenir la température intérieure à 15°, dans les circonstances les plus défavorables. La surface de chauffe par mètre courant est alors de $0^m,40$, et la quantité de chaleur transmise peut être portée à 400 unités par heure. La surface des murailles étant de 5^m, et celle des vitres de 1^m par mètre courant, d'après ce que nous avons dit (1951), la quantité de chaleur transmise serait de $80 + 5 \times 33 = 245$; mais la surface de chauffe devrait être (1957) de 0,42, nombre bien peu différent de celui qui résulte de la pratique.

2112. Lorsque les ateliers sont voisins de la cheminée d'une machine à vapeur, on peut utiliser une partie de la chaleur perdue pour chauffer l'atelier, parce qu'un refroidissement même considérable de la fumée nuit peu au tirage; d'ailleurs, la perte de tirage pourrait être compensée par une plus grande ouverture du registre, les cheminées devant toujours avoir un excès de section. En supposant que la fumée soit abandonnée à 300°, et qu'elle soit refroidie à 150°, on pourrait utiliser un huitième

de la chaleur produite dans le foyer; alors, en admettant une consommation de 4 kil. de houille par heure et par cheval, et des ateliers ordinaires, on pourrait chauffer une capacité de 200 mètres cubes par cheval.

2113. La disposition la plus simple est celle qui est indiquée figure 1re (pl. 87); mais elle ne peut être employée que quand le chauffage a été prévu avant la construction de la cheminée. Dans le cas contraire, on peut placer les tubes à côté de la cheminée, comme dans la figure 5 (pl. 87), ou dans un canal qui la précéderait, comme dans la figure 9 (pl. 61).

2114. Pour utiliser la chaleur de la fumée des cheminées, on a proposé la disposition représentée par les figures 1re, 2, 3 et 4 (pl. 122). Dans cet appareil, la fumée circule dans des tuyaux en fonte; l'air extérieur s'échauffe autour d'eux, et s'élève ensuite dans un canal vertical au centre duquel se trouve la cheminée. Cette disposition a le grand inconvénient de diminuer beaucoup trop le tirage par les circuits de la fumée; d'ailleurs, les orifices d'accès et de sortie de l'air étant beaucoup trop petits, l'air serait trop fortement échauffé.

2115. On a employé aussi la disposition indiquée par la figure 5. La cheminée est en tôle; elle est placée en dedans des ateliers et environnée d'une double enveloppe et de cloisons annulaires à la hauteur de chaque plafond; l'enveloppe est percée d'un grand nombre d'orifices à la hauteur des planchers et des plafonds; l'air de la pièce entre par les orifices inférieurs dans la double enveloppe, s'échauffe, et rentre dans la pièce par les orifices supérieurs.

Cette disposition est peu avantageuse, parce que les surfaces de chauffe n'ont pas assez d'étendue pour refroidir notablement la fumée; d'ailleurs, elle présente des chances d'incendie, qui n'existent pas quand la fumée est employée à chauffer de l'air dans des calorifères placés en dehors des bâtiments.

2116. Les figures 6 et 7 (pl. 122) représentent une disposition qui pourrait être employée pour utiliser presque toute la chaleur de la fumée d'une cheminée, mais au moyen d'une certaine dépense de travail. A, est la cheminée; B, un registre qui oblige la fumée à s'élever dans le canal en tôle C, divisé par une cloison intérieure en deux parties, dont l'une, celle qui reçoit d'abord la fumée, va constamment en se rétrécissant; et l'autre, qui reçoit la fumée refroidie, va, au contraire,

en augmentant de section. A chaque étage, et près du plafond, se trouve un tuyau de fonte ou de tôle qui part d'un des compartiments du tuyau C, fait le tour de l'atelier, et rentre dans l'autre compartiment du tuyau; un ventilateur, placé à la partie supérieure, communique par son centre avec le second compartiment, et se termine par un canal rectangulaire qui débouche dans la cheminée A. Par cette disposition, le mouvement du ventilateur oblige la fumée à parcourir simultanément tous les tuyaux placés dans les ateliers et à rentrer dans la cheminée à travers le ventilateur. Des tuyaux d'appel qui débouchent dans la grande cheminée, servent à évacuer l'air qui pénètre dans les pièces par des tuyaux D concentriques aux tuyaux de chauffage, et ouverts à leurs extrémités. Le ventilateur ne pourrait pas être placé à la partie inférieure, parce qu'il serait trop échauffé et que les coussinets ne pourraient pas être graissés; d'ailleurs, la fumée étant poussée dans les tuyaux de conduite, les fissures des joints laisseraient échapper de la fumée, tandis que dans la disposition indiquée, ils aspirent au contraire de l'air des pièces. Cet appareil est trop compliqué, de simples calorifères chauffés par la fumée seraient bien préférables.

§ 8. — ATELIERS INSALUBRES.

2117. Un grand nombre d'ateliers sont insalubres, non-seulement par la respiration des ouvriers, mais par la nature des opérations qui s'y exécutent. M. Darcet s'est occupé le premier de l'assainissement de ces ateliers, par l'emploi d'une ventilation forcée, produite par une cheminée d'appel, ou par un ventilateur, en disposant les orifices d'aspiration de manière à ce que l'air entraîne avec lui les gaz nuisibles. Nous ne décrirons pas les appareils ingénieux indiqués par M. Darcet, pour l'assainissement des soufroirs, des ateliers de doreur, des laboratoires d'essais, des affineries d'or et d'argent, des salles de bains sulfureux, etc.; nous renvoyons, pour ces objets, à la collection des mémoires de cet habile chimiste, publiée récemment par M. Grouvelle; nous nous contenterons d'indiquer quelques principes généraux, et nous insisterons seulement sur les magnaneries.

2118. Lorsque des gaz ou des vapeurs nuisibles à la respiration ne

se produisent que sur des points peu nombreux, et qu'on ne peut pas opérer dans des vases clos, il faut placer au-dessus une hotte de cheminée, dans laquelle l'air appelé, ou par la chaleur, ou par une action mécanique, entraîne avec lui les gaz et les vapeurs délétères. Quand la chose est possible, on augmente beaucoup l'effet produit, en diminuant l'étendue des orifices d'accès de l'air par des volets ou des rideaux ; mais il faut que l'atelier soit pourvu d'orifices d'une étendue suffisante pour l'introduction de l'air extérieur. C'est sur ce principe que M. Darcet a disposé les fourneaux de laboratoire et les fourneaux de doreurs au mercure. Quand les opérations ne peuvent pas se faire sous une hotte de cheminée, on peut produire l'appel par un canal descendant qui va rejoindre la cheminée en passant sous le parquet; c'est la disposition indiquée par M. Darcet pour les salles de dissection; les tables sont en métal, percées d'un grand nombre de trous, garnies d'un double fond et montées sur un tuyau en communication avec la cheminée.

2119. Lorsque les gaz appelés par le courant d'air sont en trop grande quantité pour que le mélange ne puisse pas être abandonné à l'extérieur, il faut placer dans le canal qui précède la cheminée d'appel des matières propres à absorber ces gaz. C'est ce qui arrive, par exemple, dans les affineries d'or et d'argent; les alliages sont traités par l'acide sulfurique, et il se dégage beaucoup d'acide sulfureux qu'on peut absorber par la chaux. Dans les fabriques de soude, la décomposition du sel marin par l'acide sulfurique dans les fourneaux à réverbère, produit de grandes masses d'acide chlorhydrique qu'on peut absorber ou par l'eau ou par du carbonate de chaux. Avant qu'on ait imaginé de chauffer le four de décomposition du sel marin par la chaleur perdue du four dans lequel le sulfate de soude est décomposé par la craie et le charbon, j'avais employé une disposition qui consistait dans de longs canaux en briques, renfermant à la partie inférieure une couche d'eau qui se renouvelait constamment, et communiquant avec une vaste cheminée qui recevait la fumée du four à soude. Cette disposition a très-bien réussi; elle pourrait encore être employée dans le système actuel de fabrication, il suffirait d'établir un foyer spécial dans la cheminée; mais, afin de ne pas être obligé de porter l'air à une trop haute température, il faudrait employer une cheminée très-haute et très-large.

On pourrait aussi employer un ventilateur; mais il devrait avoir de grandes dimensions et tourner lentement, afin de ne pas exiger trop de travail. M. Rougier de Septêmes a imaginé une disposition beaucoup plus simple. Les gaz qui sortent des fours à soude, après avoir passé dans le four de décomposition du sel marin, passent dans un canal formé de pierre calcaire tendre, qui s'élève progressivement sur le penchant d'une colline, et se termine par une tour remplie de blocs de calcaire. Par cette disposition, le tirage des fourneaux est encore suffisant, presque tout l'acide chlorhydrique est absorbé par le calcaire, et forme du chlorure de calcium qui se réunit dans des bassins placés à de certaines distances, et qu'on enlève de temps en temps. Mais tous ces appareils, pour être efficaces, doivent avoir des dimensions suffisantes qui peuvent être déterminées avec une approximation convenable, au moyen des différents éléments renfermés dans cet ouvrage.

2120. Mais quand les gaz nuisibles se produisent dans toute l'étendue des ateliers, il n'y a qu'un système général de ventilation qui puisse assainir les ateliers; c'est, par exemple, le cas des magnaneries; et comme on s'occupe maintenant beaucoup de ces établissements, j'entrerai à ce sujet dans quelques explications qui me semblent de nature à éclairer la question.

2121. M. Darcet a publié dans le 32e volume du Bulletin de la Société d'encouragement, les plans d'une magnanerie salubre, et plus tard, dans le 4e numéro des Annales de la Société sericole, la description détaillée d'une magnanerie mieux disposée encore. Nous supposons que le lecteur connaisse ces deux mémoires. Les dispositions imaginées par M. Darcet sont très-bien entendues, même dans leurs plus petits détails; la ventilation a lieu par de l'air plus ou moins chaud, réparti uniformément sur le sol de la magnanerie, et l'appel s'effectue par une puissante cheminée ou par un ventilateur à force centrifuge.

2122. Mais de grandes magnaneries disposées de manière à satisfaire à toutes les conditions nécessaires à l'éducation des vers à soie, reviennent à un prix beaucoup trop élevé, pour que leur établissement soit avantageux, attendu que l'éducation ne durant qu'un mois, l'opération doit supporter l'intérêt annuel du capital dépensé, et les frais annuels d'entretien et de réparation. A mon avis, les grandes magnaneries ne seraient avantageuses que dans le cas où l'on pourrait employer utilement

le local pendant onze mois de l'année : par exemple, pour des séchoirs à linge; mais cette circonstance se rencontre rarement. En outre, il paraît que jusqu'ici, dans les grands établissements, on a obtenu de moins bons résultats que dans les petites chambrées; probablement parce que le grand nombre de vers réunis dans un petit espace, est une cause d'insalubrité qui l'emporte sur les moyens d'assainissement qu'on a employés. D'ailleurs, les mûriers occupant nécessairement une très-grande étendue, on conçoit que les frais de transport des feuilles limitent la quantité de graine sur laquelle on peut opérer. Ainsi, je pense que ce qu'il y a de mieux à faire pour améliorer l'industrie dont il s'agit, ne consiste pas à étudier avec soin les meilleures dispositions d'une grande magnanerie destinée à servir de modèle, mais à publier des principes et des dispositions applicables aux petits ateliers.

2123. Dans les grandes magnaneries construites jusqu'ici, on n'a employé qu'un seul mode pour la circulation de l'air. L'air arrive par de nombreux orifices percés dans le plancher, et sort par des orifices percés dans le plafond, et les étagères sont placées les unes au-dessus des autres; mais, par cette disposition, l'air monte par les intervalles qui séparent les rangs d'étagères, et celui qui se trouve entre les claies se renouvelle difficilement. Depuis, on a proposé d'employer des ateliers peu élevés et de faire mouvoir l'air dans le sens de la longueur; mais cette méthode aurait le même inconvénient, et si l'air qui sépare les claies était mis en mouvement, cet air serait d'autant plus vicié qu'il aurait parcouru un plus long chemin. Pour le renouvellement de l'air dans les magnaneries, il n'y a, à mon avis, qu'un seul mode dont l'efficacité ne puisse pas être mise en doute; il consiste à faire arriver l'air par un certain nombre d'orifices pratiqués dans le plancher et entre les rangs d'étagères, et à appeler l'air par des fentes placées dans l'intervalle des claies. Ainsi, dans un atelier qui renfermerait quatre rangs de claies, il faudrait placer contre les murs, à une distance de 10 à 15 centimètres, une cloison formée de planches horizontales, percée, sur toute la longueur et à des distances égales à celle des claies, de fentes longitudinales, dont la largeur irait en décroissant de bas en haut ou de haut en bas, suivant que l'appel aurait lieu par le bas ou par le haut. Au milieu de la salle se trouveraient deux cloisons semblables séparées par une distance double, et percées toutes deux de fentes disposées de la même

manière; les claies seraient appuyées contre ces cloisons, et la cheminée d'appel ainsi que le ventilateur seraient mis en communication avec les espaces formés par les cloisons.

2124. Quant aux appareils de ventilation, les cheminées et les tarares, il y a quelques principes que je crois devoir rappeler. Pour les cheminées, leur puissance, lorsqu'elles renferment de l'air à la même température, augmente avec la hauteur et surtout avec la section. L'accroissement de la température augmente le tirage, mais très-lentement, comme nous l'avons vu précédemment. Ainsi il est important d'employer des cheminées très-hautes et très-larges, et de n'y chauffer l'air qu'à une température peu élevée. Je crois devoir relever ici une très-grande erreur qui a été commise par le professeur d'un cours sur l'industrie de la soie. Dans une brochure lithographiée, renfermant les résultats des expériences faites sur différents appareils de ventilation, on trouve cette assertion, que quand la ventilation a lieu par le cendrier d'un calorifère qui sert à chauffer l'air, la ventilation ne coûte rien. Cette assertion est exacte tant que l'appel ne dépasse pas 20 mètres cubes d'air par kilog. de houille brûlée; au delà, on perd toute la chaleur absorbée par l'air en traversant le fourneau. Et c'est surtout quand les foyers sont employés à chauffer de l'air, que l'insuffisance de l'appel par les cendriers peut être le mieux mise en évidence. En effet, en supposant que la fumée soit abandonnée à 100° et que l'air soit chauffé à 50°, la perte de chaleur par la fumée sera de $20 \times 1,3 \times 100 \times 0,25 = 650$ unités par kilog. de houille, et le volume d'air échauffé à 50° sera $6850 : (1,3 \times 50 \times 0,25) = 424^{\text{m. c.}}$; ainsi le foyer dans son allure ordinaire n'appellerait pas 0,05 du volume d'air chauffé. D'ailleurs, comme nous l'avons dit (2105), ce mode d'appel, employé pour produire une grande ventilation, exige plus de combustible qu'une cheminée d'appel spéciale. Du reste, dans les magnaneries, comme dans tous les établissements qui exigent une ventilation déterminée, constante ou variable, la plus mauvaise disposition qu'on puisse employer consiste à produire le chauffage et la ventilation par un même foyer, parce qu'il devient impossible de régler à la fois ces deux effets.

2125. Quant aux ventilateurs, comme ils sont toujours mus par des hommes, ils offrent peu d'avantage sur les cheminées d'appel; mais ils sont avantageux pour produire momentanément une grande ventilation. Une remarque importante à faire sur ces appareils, c'est qu'ils produi-

sent d'autant plus d'effet qu'ils ont de plus grandes dimensions, et qu'ils marchent plus lentement, parce que la dépense de travail est proportionnelle au carré de la vitesse imprimée à l'air.

2126. Quel que soit le mode d'appel, il est important que l'air se meuve dans de larges conduits qui n'aient d'étranglement dans aucune partie de leur longueur.

2127. Enfin, on peut effectuer le renouvellement de l'air en faisant l'appel par le haut avec une cheminée légère placée dans les combles, ou par le bas au moyen d'une cheminée plus solide assise sur le sol. Lorsque la ventilation a lieu par un tarare, le renouvellement de l'air peut s'effectuer, en comprimant l'air dans l'intérieur de la magnanerie ou en l'aspirant du dehors. Ces deux modes peuvent produire le même effet; seulement, quand l'air est introduit par la machine, il y a une perte inévitable par les fissures des portes et des fenêtres, et par l'ouverture des portes.

2128. *Ventilation des mines.* M. Combes a publié, il y a quelques années, un traité spécial sur la ventilation des mines, qui renferme tous les renseignements nécessaires sur cette partie si importante de l'exploitation des mines; nous ne les reproduirons pas, parce que nous n'aurions à y ajouter que les remarques déjà faites sur les dispositions des ventilateurs imaginés par M. Combes. Mais nous rapporterons les principaux résultats obtenus par M. Glepin, ingénieur des mines de Belgique, dans une longue série d'expériences qu'il a faites récemment sur un grand nombre d'appareils de ventilation des mines. Une partie seulement de ces expériences a été insérée dans le *Bulletin du Musée de l'industrie*, publié par M. Jobard.

2129. *Cheminées de ventilation.* Dans plusieurs de ses expériences, M. Glepin a pu mesurer le volume et la température de l'air écoulé, et la dilatation résultant de l'appel de la cheminée. Alors il a pu comparer le travail effectué par la cheminée, à celui qui serait produit au moyen d'une machine qui consommerait la même quantité de combustible dans le même temps.

Une de ces cheminées a $41^{m},74$ de hauteur et une section carrée de $1^{m},20$ de côté. Le volume d'air qui s'écoulait par seconde, à la température de 74°, était de $1^{m.c},880$, dont le poids $= 1^{k},93$. La perte de chaleur par le refroidissement était de 0,38. Le foyer brûlait par jour 713 kilogr.

de houille de qualité inférieure. La dilatation produite par l'appel était de $0^m,012$ en eau, et en air à 3° de $9^m,25$; et le travail était égal à $1,93 \times 9,25 = 17^{km},76 = 0,237$ de cheval-vapeur. Alors, en admettant que le travail effectif d'un cheval-vapeur exige 7 kilogr. de cette houille par heure, comme la consommation du combustible était, dans le même temps, de $713 : 24 = 29^k,75$, qui correspond à $29,75 : 7 = 4,25$ chevaux, l'effet produit par la cheminée est égal à $0,237 : 4,25 = 0,055$ du travail que le combustible brûlé pourrait produire.

Deux autres cheminées ayant, l'une, $25^m,50$ de hauteur et $1^m,44$ de section, l'autre 30 mètres de hauteur et $1^m,65$ de section, ont donné les mêmes résultats.

Toutes ces expériences viennent à l'appui de ce que nous avons dit (522). Cependant M. Glepin a trouvé que pour un foyer établi au fond d'un des puits du grand Hornu, à une profondeur de 210 mètres, l'effet produit était le même que celui d'un ventilateur de M. Combes, qui exigeait un travail de 1,2 cheval-vapeur, dans les mêmes circonstances. Or, comme la consommation de houille était de 468 kilogr. par jour, et qu'il n'y avait que $\frac{1}{5}$ de la chaleur développée réellement utilisé, M. Glepin conclut que si le puits ne produisait que le refroidissement observé dans plusieurs autres, placés dans les mêmes conditions, la chaleur utilisée serait égale à 0,8 de celle produite par la combustion; qu'alors, la consommation par jour serait réduite à 116 kilogr. pour vingt-quatre heures, ou $4^k,8$ par heure, pour produire un travail équivalant à 1,2 cheval-vapeur; et comme les ventilateurs de M. Combes utilisent 0,38 du travail produit, la cheminée produirait à peu près trois fois le travail effectif du ventilateur, pour la même consommation de combustible. Cet effet résulte à la fois de la grande hauteur et de la grande section du puits.

M. Glepin a obtenu les résultats suivants pour des machines aspirantes de différentes formes.

2130. *Machines à piston.* Ces machines sont formées de deux cylindres en bois, dans chacun desquels se meut un piston garni de clapets, s'ouvrant par une pression de bas en haut; les tiges des pistons sont mises en mouvement par le balancier d'une machine à vapeur; les parties inférieures des cylindres sont garnies de clapets, et communiquent avec le tube d'aspiration. La première de ces machines a donné un effet utile

qui a varié de 0,36 à 0,40; une autre seulement 0,26: M. Glepin attribue cette différence au mauvais état de la machine à vapeur, et à ce que les clapets des pistons ne sont pas soutenus par des contre-poids.

2131. *Vis pneumatiques.* Ces vis se composent de deux cloisons héliçoïdales fixées sur un axe forgé, et placées dans l'intérieur d'un cylindre horizontal en fonte, communiquant, par une extrémité, avec l'espace à ventiler, et par l'autre, avec l'air extérieur. Le mouvement est imprimé à l'axe par une machine à vapeur au moyen d'une courroie. M. Glepin a observé plusieurs de ces machines, et il a trouvé que les effets produits étaient compris entre 0,31 et 0,25.

2132. *Ventilateurs à force centrifuge.* Les ventilateurs à ailes planes sur lesquels M. Glepin a fait ses expériences, étaient à quatre ailes; les effets utiles observés ont peu différé de 0,20. Les ventilateurs de M. Combes ont donné 0,38.

2133. *Injection de vapeur d'eau.* L'appareil se composait d'un large canal horizontal communiquant avec la mine, fermé par un bout, et renfermant six tuyaux de tôle, verticaux, ouverts par les deux bouts et encastrés dans la paroi supérieure du canal; ces tuyaux avaient $1^m,33$ de longueur, 0,45 de diamètre, et recevaient chacun un jet de vapeur par leur extrémité inférieure. L'effet utile produit a été seulement de 0,05.

Un jet de vapeur à 2,75 atmosphères, dans une cheminée d'aérage ayant 39^m de hauteur, $1^m,19$ de côté, a produit un effet utile de 0,067.

2134. *Observations.* Il est important de remarquer que, dans les résultats que nous venons de rapporter, la puissance des machines a toujours été calculée, et par conséquent que les effets indiqués se trouvent compliqués de la perte de travail dans la machine motrice elle-même.

Pour les ventilateurs à ailes planes, les faibles résultats obtenus proviennent en grande partie, d'après M. Glepin, d'un double courant établi près des bords des orifices d'aspiration, résultant du trop grand diamètre de ces ouvertures. Cette circonstance a pu avoir une certaine influence; mais le petit nombre des ailes a dû en avoir davantage. On doit même être étonné que ces appareils aient produit autant d'effet. Je suis persuadé qu'avec des ventilateurs garnis d'ailes assez nombreuses et assez hautes, pour que les veines d'air qui s'écoulent dans les canaux qu'elles forment, puissent prendre un régime constant, les courants en sens contraire qui tendent à se produire der-

rière chaque aile, n'existeraient pas, et qu'on obtiendrait un effet utile beaucoup plus considérable. Il serait possible pourtant qu'il fût avantageux aussi de rendre la section des canaux constante, ou en donnant aux ailes une forme trapézoïdale et aux joues celle de deux cônes tronqués, ou en conservant des joues planes, et en disposant les ailes de manière qu'elles soient parallèles 2 à 2, et que les ailes inclinées se touchent à leur naissance, c'est-à-dire, à une distance du centre égale au rayon des orifices d'accès. Il y aurait aussi probablement de l'avantage à éviter les changements brusques de direction de l'air en pénétrant dans les canaux mobiles, en fixant sur l'axe de rotation et au milieu, deux surfaces de révolution engendrées par deux courbes opposées, tangentes à l'axe et à une ligne perpendiculaire.

Les expériences faites sur des ventilateurs à quatre ailes n'ont point changé ma manière de voir (544); et je pense que le plus grand effet utile obtenu dans les ventilateurs de M. Combes, ne résulte d'aucune des considérations théoriques sur lesquelles leur construction repose, mais uniquement de l'absence de l'appel de l'air extérieur derrière les ailes; appel qu'on peut éviter dans les ventilateurs à ailes planes, comme nous l'avons dit, en employant un nombre d'ailes suffisant, et en rendant la section des canaux constante.

Quant aux résultats obtenus en produisant l'appel par des courants de vapeur lancés dans une cheminée d'une grande section, le peu d'effet utile obtenu résulte sans aucun doute des remous qui se produisent autour du jet. Mais pour les appareils dans lesquels la vapeur était lancée dans des tuyaux, en supposant que chaque tuyau fût assez long pour que la veine de vapeur le remplît, comme les buses avaient une très-grande section, la vapeur devait sortir avec une très-grande vitesse, et il n'est pas étonnant qu'on ait produit si peu d'effet. Je ne doute pas qu'avec des buses vingt fois plus petites et des tuyaux plus longs, on n'obtienne de bien meilleurs résultats. Peut-être aussi des jets intermittents produiraient-ils plus d'effet. Il y aurait à ce sujet des expériences intéressantes à faire, qui pourraient s'exécuter à peu de frais, et dont les résultats seraient très-importants pour l'industrie.

FIN.

ADDITIONS.

Rayonnement des foyers. Dans la détermination des pouvoirs rayonnants des combustibles, on a pris le nombre 1, 36, pour le coefficient de correction, au lieu du nombre 1,20, qui résulte des dimensions de l'appareil (108); alors les pouvoirs rayonnants indiqués sont trop grands dans le rapport de 13 à 12. Mais cette erreur est sans importance, parce que les expériences dont il est question conduisent seulement à une valeur approximative des pouvoirs rayonnants dans les mêmes circonstances, et constatent plutôt des différences que des valeurs absolues, attendu qu'un foyer alimenté par le même combustible, en même quantité, dans le même temps, peut rayonner des quantités de chaleur très-différentes, suivant l'étendue de la surface libre du combustible et sa température.

On pourrait obtenir une approximation de la quantité de chaleur rayonnée par les foyers, en partant de la loi de MM. Petit et Dulong sur le refroidissement par rayonnement, en supposant que la loi du rayonnement subsiste pour toutes les températures. La loi dont il est question est représentée par la formule

$$v = ma^{\theta}(a^{t} - 1),$$

dans laquelle m est un nombre qui dépend de la nature de la surface et des dimensions du corps, $a = 1{,}0077$, θ est la température de l'enceinte, et t l'excès de la température du corps sur celle de l'enceinte. Or, il résulte des expériences rapportées précédemment (1807), que pour le noir de fumée et une différence de température de 20°, la quantité de chaleur rayonnée est le tiers de la quantité totale de chaleur perdue; et nous avons vu que, dans ces circonstances, cette quantité de chaleur était de 180 unités par mètre carré et par heure (1813);

alors l'excès de la quantité de chaleur rayonnée par le corps sur celle qu'il reçoit de l'enceinte, est égal à 120 unités et on en déduit $m = 1395$; et par conséquent la quantité de chaleur émise par rayonnement est représentée par la formule

$$v = 1395 . 1{,}0077^{\theta}(1{,}0077^{t} - 1);$$

et en supposant $\theta = 150^{\circ}$, et successivement $t = 600^{\circ}$, 700°, 800°, 900°, 1000°, on trouve pour les quantités de chaleur émises par heure et par mètre carré, les nombres

431900, 745600, 2031000, 4381000 et 9400000;

les quantités de houille correspondantes sont

72^{k}, 124^{k}, 338^{k}, 730^{k} et 1550^{k}.

Ainsi, la quantité de chaleur transmise par rayonnement augmente suivant une loi très-rapide avec la température. En supposant que la température du foyer soit seulement de 700 degrés, et une consommation de 200 kilog. de houille par heure, on voit que la quantité de chaleur rayonnée excéderait celle qui est entraînée par le courant d'air. Il est important de remarquer que dans les chaudières à vapeur, la chaleur rayonnée par le foyer n'étant pas transmise instantanément à l'eau, la température de la chaudière augmente avec la température du foyer, et que tout porte à croire que la quantité de vapeur qui peut être produite par mètre carré de surface, a une limite correspondante à une certaine température de la chaudière.

Perte de chaleur par les cheminées. En désignant par t l'excès de température de la fumée sur celle de l'air, par V le volume d'air introduit par kilogramme de houille brûlé, la quantité de chaleur contenue dans la fumée est égale à $V. 1, 3. t : 4$; celle qui est produite étant 7000, la perte est représentée par

$$0{,}000047\, V t.$$

Transmission de la chaleur à travers les corps mauvais conducteurs. Nous réunissons ici les résultats de nouvelles expériences faites sur des corps qui ne sont pas compris dans le tableau (1838) de la page 355.

Marbre blanc	$k=9$	$C=0,70$
Marbre en fragments de $0^m,001$ cube		$C=0,25$
Idem de 0,0005		$C=0,27$
Marbre en poudre		$C=0,38$
Verre	$k=9$	$C=0,27$
Terre des fourneaux, sèche		$C=0,30$
Idem renfermant 0,04 en poids d'eau		$C=0,46$
Idem 0,08		$C=1,28$
Drap fin	$k=9,47$	$C=0,046$
Couverture de laine	$k=6$	$C=0,085$
Molleton de coton	$k=5,9$	$C=0,096$
Calicot blanc	$k=7,24$	$C=0,14$
Calicot rouge	$k=7$	$C=0,18$
Cire jaune		$C=0,16$
Suif		$C=0,13$
Ouate		$C=0,05$
Édredon légèrement pressé		$C=0,06$

Transmission de la chaleur à travers un vase cylindrique, garni d'un tuyau intérieur et successivement exposé à l'air avec ou sans enveloppe. Les nombres que nous avons indiqués (1826) ayant été trouvés pour des vases de petites dimensions, j'ai fait de nouvelles expériences sur un vase ayant $0^m,40$ de hauteur et $0^m,20$ de diamètre, percé au centre d'un canal cylindrique de 0^m10 de diamètre. Ce vase était en fer-blanc et couvert de papier blanc; l'enveloppe extérieure était de même nature et avait $0^m,30$ de diamètre.

En désignant par A la perte de chaleur calculée pour une différence de la température de 1°, par mètre carré de surface extérieure, et par heure, le cylindre central étant bouché aux deux extrémités, et le vase exposé à l'air sans enveloppe, on trouve $A = 10,6$ unités pour des différences de températures comprises entre 45 et 70 degrés.

En désignant par B la perte de chaleur par mètre carré de surface du tuyau intérieur, et pour une différence de 1°, dans les mêmes circonstances, on trouve $B=5,6$ unités.

Pour les mêmes différences de température, l'enveloppe extérieure ne modifiait pas sensiblement le refroidissement.

FIN DES ADDITIONS.

TABLE DES MATIÈRES

CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

Pages.

CHAPITRE X. DISTILLATION..... 1

§ 1. Distillation simple..... 1
2. Appareils de distillation et d'analyse des vapeurs..... 19
3. Appareils de distillation dans lesquels la chaleur est utilisée plusieurs fois..... 27

CHAPITRE XI. ÉVAPORATION..... 34

§ 1. Évaporation spontanée à l'air libre..... 35
2. Évaporation par un courant d'air forcé à la température ordinaire..... 37
3. Évaporation à vases ouverts par l'action directe d'un foyer..... 40
4. Évaporation d'un liquide chaud par un courant d'air forcé froid ou chaud..... 55
5. Évaporation par la vapeur..... 62
6. Évaporation dans le vide..... 74
7. Appareils d'évaporation dans lesquels la chaleur est employée plusieurs fois..... 86

CHAPITRE XII. SÉCHAGE..... 97

§ 1. Séchage à l'air libre..... 98
2. Séchage par l'air chaud..... 99
3. Séchage des étoffes par rayonnement..... 122
4. Séchage des corps par leur application contre des surfaces métalliques chauffées..... 123
5. Séchage des étoffes par la force centrifuge..... 133
6. Séchage des matières pulvérulentes..... 134
7. Séchage par l'air à la température ordinaire, desséché et mis en mouvement par la chaleur ou par une action mécanique..... 137
8. Séchage dans le vide..... 142

CHAPITRE XIII. CHAUFFAGE DE L'AIR..... 143

§ 1. Chauffage direct par la combustion..... 143
2. Chauffage de l'air des appartements par le rayonnement du combustible..... 145
3. Chauffage intérieur par les poêles..... 164
4. Cheminées-poêles..... 202

Pages.

5. Calorifères à air chaud..... 205
Calorifères placés dans les pièces chauffées et ventilées..... 206
Calorifères placés loin des lieux qui doivent être chauffés..... 208
Calorifères destinés à chauffer l'air à une haute température..... 228
Calorifères chauffés par la chaleur perdue des fourneaux..... 233
6. Chauffage de l'air par la vapeur..... 239
7. Chauffage de l'air par des calorifères à eau chaude à basse pression..... 256
8. Chauffage de l'air par l'eau chaude à haute température..... 263

CHAPITRE XIV. CHAUFFAGE DES LIQUIDES..... 268

§ 1. Chauffage direct des liquides..... 268
2. Chauffage de l'eau des bains..... 270
3. Appareils de lessivage..... 279
4. Chauffage des liquides par la vapeur..... 284
5. Appareils d'économie domestique..... 287

CHAPITRE XV. CHAUFFAGE DES CORPS SOLIDES..... 320

CHAPITRE XVI. DU REFROIDISSEMENT..... 339

§ 1. Théorie du refroidissement des corps dans l'air..... 339
2. Dispositions propres à retarder le refroidissement des corps..... 358
3. Dispositions propres à accélérer le refroidissement des corps..... 359
4. Refroidissement des corps au-dessous de la température ordinaire, et conservation de la glace..... 364

CHAPITRE XVII. CHAUFFAGE, VENTILATION ET ASSAINISSEMENT DES LIEUX HABITÉS.. 374

§ 1. Volume d'air nécessaire à la respiration et aux appareils d'éclairage..... 374
2. Chaleur produite par la respiration..... 379
3. Différents modes de ventilation..... 380
4. Chaleur transmise par les vitres et par les murailles..... 391
5. Chauffage et assainissement des maisons d'habitation..... 395
6. Chauffage des édifices publics..... 404
7. Chauffage des ateliers..... 466
8. Ateliers insalubres..... 469

Additions..... 479

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES CONTENUES DANS LE SECOND VOLUME.

La Bibliothèque
Université d'Ottawa

Echéance

Celui qui rapporte un volume après la dernière date timbrée ci-dessous devra payer une amende de cinq sous, plus un sou pour chaque jour de retard.

The Library
University of Ottawa

Date due

For failure to return a book on or before the last date stamped below there will be a fine of five cents, and an extra charge of one cent for each additional day.

NOV 20 2001

NOV 28 2001

NOV 15 2001

a39003 003158325b

CE TJ 0260
.P4 1843 V002
COO PECLET, EUGE TRAITE DE LA
ACC# 1298451

U D' / OF OTTAWA
COLL ROW MODULE SHELF BOX POS C
333 14 07 03 14 17 0